Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Aplicación del Software AutoCad Civil 3D al diseño de un vertedero de residuos inertes en A Rúa

Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez
Tutores: Francisco Cabezas García
Manuel Morato Moreno

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Aplicación del Software AutoCad Civil 3D al diseño de un vertedero de residuos inertes en A Rúa

Autor:
Víctor Manuel Yáñez Pérez

Tutores:
Francisco Cabezas García
Profesor Titular Escuela Universitaria
Manuel Morato Moreno
Profesor Titular Escuela Universitaria

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: Aplicación del Software AutoCad Civil 3D al diseño de un vertedero de residuos inertes en A Rúa

Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez

Tutores: Francisco Cabezas García

Manuel Morato Moreno

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia y amigos

A mis profesores

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi familia por darme la oportunidad y el apoyo necesario para poder estudiar y finalizar con éxito esta ingeniería.

A mis amigos de Sevilla sin los que estos dos años no hubiesen sido lo mismo.

A mis profesores por tansmitirme sus conocimientos, y especialmente a mis dos tutores por su ayuda y disponibilidad en todo momento para poder realizar este trabajo.

Resumen

Este documento tiene como objetivo la obtención de las diferentes capacidades competentes y ventajas que pueda ofrecer la aplicación del software AutoCAD Civil 3D a la realización de proyectos de vertederos.

El proceso consiste en el estudio de las diferentes herramientas y funciones que el programa lleva integradas y su posterior aplicación, en este caso, a la elaboración de un vertedero de residuos inertes en A Rúa (Galicia). Consiguiéndose de esta forma además, una guía metodológica para el diseño y modelado de este tipo de proyectos. Esta guía trata de ser simple y eficaz.

Finalmente se obtendrá una conclusión acerca de la eficacia e idoneidad de la utilización del software AutoCAD Civil 3D a este tipo de proyectos, teniendo en cuenta que su aplicación mayoritaria se centra en la realización de infraestrucutras civiles de tipo lineal como pueden ser carreteras y autopistas, ferrocarriles, redes de saneamiento y abastecimiento…

Abstract

This Document is aimed to obtain the core competencies and advantages that the software AutoCAD Civil 3D can be offer in waste landfills projects.

The process consists of studying the different tools and applications of the software to make a inert waste landfill in A Rúa (Galicia). Getting in this way a guide to design and create this type of projects. This guide try to be effective and easy.

Finally, We will obtain a result of the effective and suitability of the software AutoCAD Civil 3D to make this type of projects which is normally used to do civil linear works like highways, high speed trains, supply and drainage networks…

Índice

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE PLANOS

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto de estudio

El trabajo consistirá en la elaboración de un vertedero de residuos inertes mediante el software AutoCAD Civil 3D 2019 en sus diferentes fases de llenado y sellado. Además de la realización de las balsas de decantación para la recolección de lixiviados y pluviales y un camino de acceso tanto al vertedero como a las propias balsas.

Para ello, el proyecto se centrará fundamentalmente en la parte enfocada a la elaboración de planos y la realización de mediciones de movimientos de tierras aplicando las ventajas que ofrece el diseño y modelado del vertedero mediante el software AutoCAD Civil 3D. Obteniéndose de esta forma además, una guía metodológica para la ejecución de este tipo de proyectos a través de las diferentes herramientas y funciones que el programa ofrece.

También habrá una sección dedicada a la parte técnica que la construcción de un vertedero y sus diferentes componentes requieren, como puede ser la impermeabilización de la celda de vertido, del sellado y de las balsas de decantación o el refinamiento de los diferentes taludes empleados.

De igual manera se realizarán los cálculos e hipótesis necesarias para el dimensionamiento de la celda de vertido y de las balsas de decantación.

1.2 Vertedero de residuos inertes

1.2.1 Definición

Un vertedero es aquel lugar donde se depositan de manera definitiva residuos que ya no pueden ser reutilizados, reciclados o valorizados.

Los vertederos se clasifican en tres categorías en función de los residuos que se vayan a almacenar:

- Vertedero para residuos peligrosos
- Vertedero para residuos no peligrosos
- Vertedero para residuos inertes

En este caso el vertedero se utilizará exclusivamente para el almacenamiento de residuos inertes, que según el *Real Decreto 1481/2001, de 27 de Diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero* se definen como:

"Aquellos residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes de los residuos y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas".

Como aclaración para el tratamiento del resto del trabajo y según este mismo Decreto, se denominará lixiviado a cualquier líquido que percole a través de los residuos depositados y que rezume desde o que esté contenido en un vertedero.

1.2.2 Residuos admisibles

La *Orden AAA/661/2013, de 18 de Abril, por la que se modifican los anexos I, II Y III del Real Decreto 1481/2001* establece los criterios de admisión en vertederos para residuos inertes:

Tabla 1: Criterios de admisión en vertederos para residuos inertes

Código LER	Descripción	Restricciones
10 11 03	Residuos de materiales de fibra de vidrio	Solamente sin aglutinantes orgánicos
15 01 07	Envases de vidrio	
17 01 01	Hormigón	Solamente residuos seleccionados de construcción y demolición
17 01 02	Ladrillos	Solamente residuos seleccionados de construcción y demolición
17 01 03	Tejas y materiales cerámicos	Solamente residuos seleccionados de construcción y demolición
17 01 07	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos	Solamente residuos seleccionados de construcción y demolición
17 02 02	Vidrio	
17 05 04	Tierra y piedras	Excluidas la tierra vegetal, la turba y la tierra y piedras de terrenos contaminados
19 12 05	Vidrio	
20 01 02	Vidrio	Solamente el vidrio procedente de la recogida selectiva
20 02 02	Tierras y piedras	Solamente de residuos de parques y jardines. Excluidas la tierra vegetal y la turba

Como aclaración mencionar que el código LER hace referencia a la Lista Europea de Residuos, la cual facilita la caracterización de los residuos a partir de su origen y naturaleza.

1.2.3 Partes

Las partes principales que componen un vertedero de dichas carcaterísticas son las siguientes:

- Celda o vaso principal
- Balsas de decantación
- Sellado o clausura
- Camino de acceso

Celda o vaso principal

Cavidad sobre la que se depositan los residuos y la cual debe de estar preparada para la recepción de dichos materiales mediante la impermeabilización. La formación del vaso se realiza mediante los movimientos de tierras y el perfilado de los taludes con la pendiente deseada.

El fondo del vertedero tendrá la correspondiente pendiente longitudinal y transversal y un sistema de drenaje para la correcta recolección de las aguas infiltradas o lixiviados, las cuales serán enviadas a las balsas de decantación.

Constará de un camino de coronación que rodea el vaso y de una rampa de bajada o acceso al fondo del vertedero para facilitar la maniobrabilidad de la maquinaria en las operaciones de vertido durante la fase de explotación del vertedero, ambos deberán de tener un ancho y una pendiente adecuados para este tipo de vehículos.

Además deberá realizarse la impermeabilización del vaso con las diferentes capas y barreras geológicas para evitar la contaminación del suelo y de las aguas. Las condiciones mínimas a exigir a dichas barreras están establecidas en el *Real Decreto 1481/2001* y se tratarán más adelante.

En la siguiente ilustración se puede observar el vaso del vertedero de rechazos de Santa Margarita (Mallorca) con sus diferentes partes:

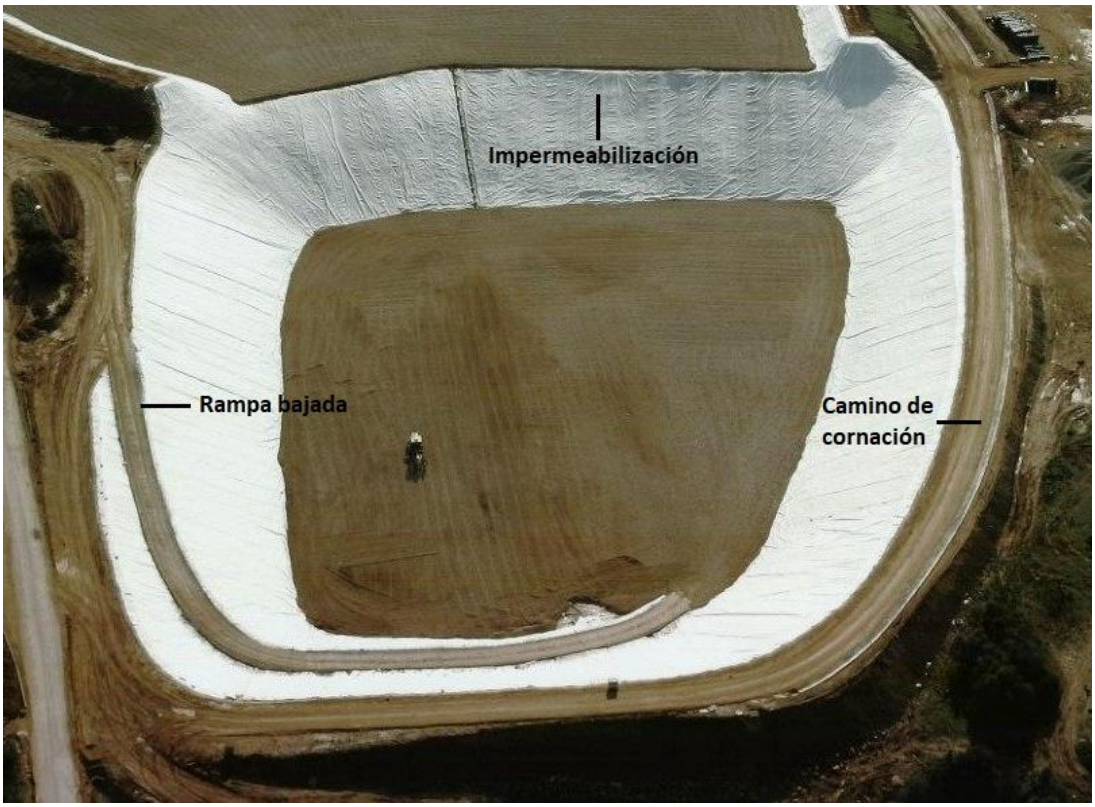


Ilustración 1: Vaso del vertedero de Santa Margarita (Mallorca)

(Elaboración propia. Fuente: lluisamengual.wordpress.com)

Balsas de decantación

Entre las instalaciones generales para la correcta gestión del vertedero destacan la construcción de las balsas de decantación, que están formadas por:

Balsas de lixiviados

Se encargan de almacenar los lixiviados procedentes del vertedero, captados y canalizados a través del sistema de drenaje de lixiviados.

En este caso por tratarse de un vertedero de residuos inertes, los lixiviados no estarán contaminados y simplemente el objetivo de las balsas será la decantación de las aguas, pues éstas irán cargadas de sólidos y pequeñas partículas. Las balsas tienen que estar debidamente impermeabilizadas.

Su dimensionamiento se realizará a partir del cálculo de los lixiviados producidos en el mes más desfavorable, para ello a las precipitaciones se le restará la evapotranspiración y la retención de los residuos.

Balsas de pluviales

Su función principal es retener el agua procedente de los pluviales y la escorrentía el tiempo suficiente que permita su clarificación al decantarse los sólidos. De igual forma deben de estar impermeabilizadas y su dimensionamiento se realiza a partir del cálculo del volumen de máxima avenida.

En ambas balsas, las aguas una vez realizado el proceso completo de decantación serán redirigidas al cauce natural. Si bien en las balsas de lixiviados se deberán realizar los controles pertienentes del plan de vigilancia para poder autorizar el vertido. Cabe destacar que para que se efectúe una correcta decantación es preciso que la balsa posea una superficie mínima.

A continuación se muestra en la siguiente imagen la presencia de las balsas de lixiviados en el vertedero de Son Reus en Mallorca:

Ilustración 2: Balsas de lixiviados del vertedero de Son Reus (Mallorca)

(Elaboración propia. Fuente: lluisamengual.wordpress.com)

Sellado o clausura

Una vez alcanzado el volumen máximo de residuos para el cual se diseña el vaso de vertido se llevará a cabo el sellado o clausura del vertedero.

El sellado tiene como misión evitar la entrada de agua de lluvia y escorrentía en el vaso, impidiendo así que el agua entre en contacto con los residuos y evitando de esta forma la generación de lixiviados. De igual forma que el vaso y las balsas, deberá impermeabilizarse mediante diferentes capas.

Además se realizará la revegetación del depósito con el fin de conseguir la integración paisajística en el entorno y su restauración ambiental.

En la ilustración 3 y 4 se muestra el estado del vertedero de Somontano en Huesca antes y después de la realización del sellado y restauración ambiental.

Ilustración 3: Vertedero de Somontano (Huesca) antes del sellado

(Fuente: www.radiohuesca.com)

Ilustración 4: Vertedero de Somontano (Huesca) después del sellado

(Fuente: www.radiohuesca.com)

Camino de acceso

Permite la entrada y acceso de los vehículos y la maquinaria al vertedero, tanto al camino de coronación y a la rampa de bajada al fondo del vertedero como a las balsas de decantación, para que de esta forma se puedan llevar a cabo las diferentes labores.

Por su calificación como camino de servicio no será preciso para su diseño en planta, alzado y sección transversal el cumplimiento de la Norma3.1-IC. de Trazado.

En la siguiente imagen se pueden observar tanto los caminos de acceso al vaso del vertedero desde la carretera principal como a las balsas desde el camino de coronación del vertedero.

Ilustración 5: Vertedero de rechazos de Caudete de las Fuentes (Valencia)

(Fuente: www.vielca.com)

2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 Antecedentes

El vertedero de residuos inertes de A Rúa se proyecta con la intención de dar servicio a las diferentes empresas establecidas en el Parque Empresarial de As Pedreiras, en el término municipal de A Rúa de Valdeorras, en la provincia de Ourense.

Las instalaciones del vertedero estarán destinadas a la eliminación de residuos inertes generados por las actividades desarrolladas en el propio polígono industrial. Los residuos depositados por las diferentes empresas serán del tipo: Vidrios, materiales elaborados con fibra de vidrios, escombros, materiales cerámicos…

Debido a que no existen infraestructuras de gestión medio ambiental a una distancia económicamente rentable, se decide promover la apertura de dicho depósito para atender la demanda de la zona.

2.2 Ubicación

El *Real Decreto 1481/2001* establece una serie de consideraciones a tener en cuenta a la hora de seleccionar la ubicación de un vertedero:

- Las distancias entre el límite del vertedero y las zonas residenciales y recreativas, vías fluviales, masas de agua y otras zonas agrícolas o urbanas.
- La existencia de aguas subterráneas, aguas costeras o reservas naturales de la zona.
- Las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona.
- El riesgo de inundaciones, hundimientos, corrimiento de tierras o aludes.
- La protección del patrimonio natural o cultural de la zona.

El vertedero se ubica finalmente en el Parque Empresarial de As Pedreiras, en el término municipal de A Rúa de Valdeorras, en la provincia de Ourense. Se selecciona esta localización por su situación en el Parque Empresarial al que dará servicio y por las condiciones oreográficas favorables del terreno.

La zona de estudio se encuentra en una ladera limitada por la línea de ferrocarril A Coruña-Palencia y el río Sil al Sur y la carretera N-120 Vigo-Logroño al Norte.

El acceso a las instalaciones se realizará a través del nudo que conecta con la N-120 situado al este del vertedero.

Las coordenadas de las instalaciones son las siguientes:

Tabla 2: Coordenadas UTM de la zona de estudio

Coordenadas UTM (Huso 29)	
X	Y
653.242	4.694.563

Ver *Plano 1: Situación* y *Plano 2: Emplazamiento*.

Ilustración 6: Situación de la zona de estudio

Ilustración 7: Situación de la zona de estudio dentro del término municipal

2.3 Distancia respecto a las infraestructuras existentes

Para determinar los límites y distancias a respetar con respecto a las vías de comunicación existentes, al norte la N-120 y al sur la línea ferroviaria A Coruña-Palencia, se estudian las correspondientes normativas en vigor:

- El *Plan Básico Autonómico de Galicia*, que actúa como el Planeamiento Urbanístico vigente, establece en su normativa y ordenanzas en el Título IV: Afecciones derivadas de la normativa sectorial, Capítulo VI: Normativa sectorial en material de ferrocarriles, que se deberá respetar como zona de protección una franja de 70 metros desde la arista exterior de la explanación más próxima, en la cual no se podrá construir.
- La *Ley 37/2015, de 29 de Septiembre, de carreteras* indica en su Capítulo III: Uso y defensa de la carretera, en el Artículo 32: Zona de afección, que la distancia a respetar como zona de afección en carreteras convencionales del Estado es de 50 metros desde las líneas paralelas a las aristas exteriores.

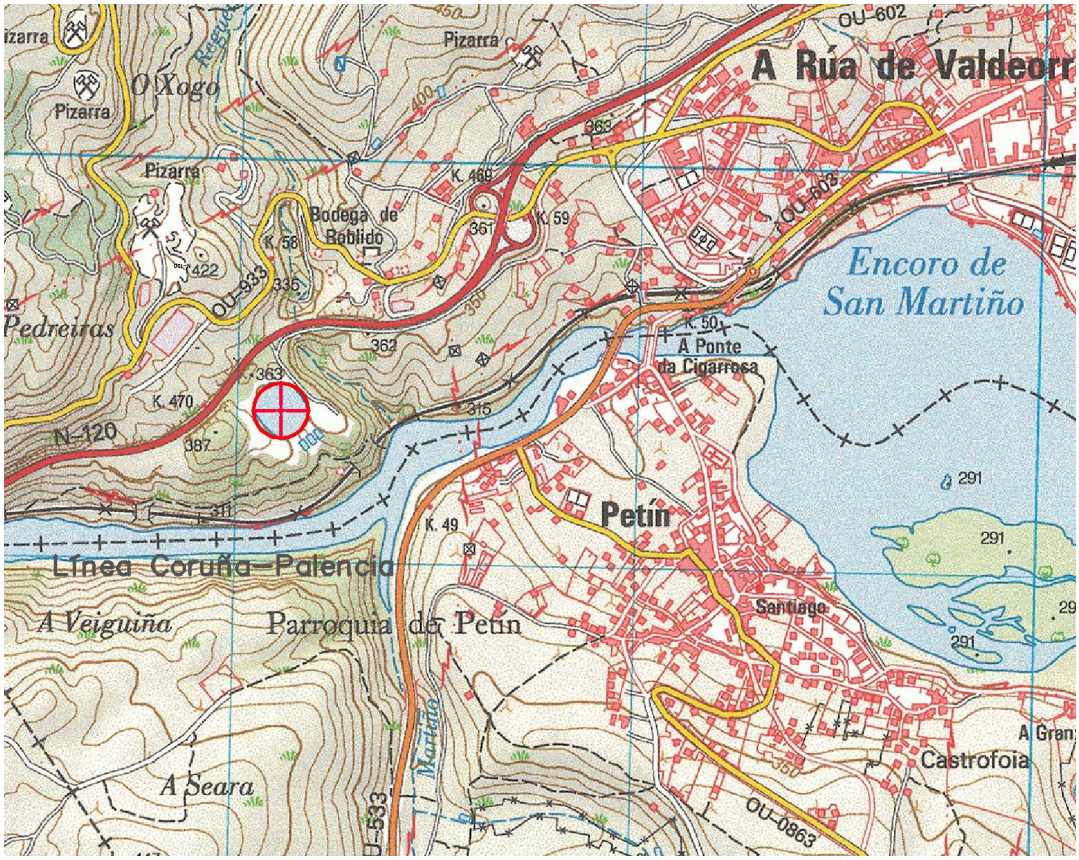


Ilustración 8: Situación del vertedero respecto a las infraestructuras existentes

Las distancias empleadas finalmente en relación con las infraestructuras existentes son de:

- 100 metros respecto a la línea ferroviaria A Coruña-Palencia.
- 60 metros respecto a la N-120.

2.4 Geología

La parcela en la que se pretende ubicar el depósito presenta un sustrato granítico correspondiente a un importante afloramiento ígneo formado por un granito adamellítico. Se trata de una roca de color gris rosáceo, de grano medio a veces grueso, compacta e irregular, donde a simple vista pueden observarse megacristales de feldespato.

Sobre este granito se pueden encontrar depósitos de arenas y arcillas del terciario; estos afloramientos cuanto más occidentales se hacen más arenosos, perdiendo parte de su color rojizo característico.

En contacto con el afloramiento ígneo, aparecen pizarras y esquistos pertenecientes al complejo Silúrico-Devónico, y pizarras y esquistos de las facies de Luarca, del Ordovícico, en la parte que queda al sur del río Sil.

Aunque aparentemente la presencia de una roca como el granito no parece muy recomendable para la construcción de un vertedero por su dureza, pudiendo provocar un aumento de los gastos, sobre ellas se encuentran otros materiales como por ejemplo las arcillas, muy útiles para la construcción de la base debido a su impermeabilidad.

La información acerca de la geología de la zona ha sido extraída a partir de la Hoja nº190 de la serie Magna del IGME.

En la siguiente mapa se puede observar la situación del vertedero sobre el granítico adamellítico:

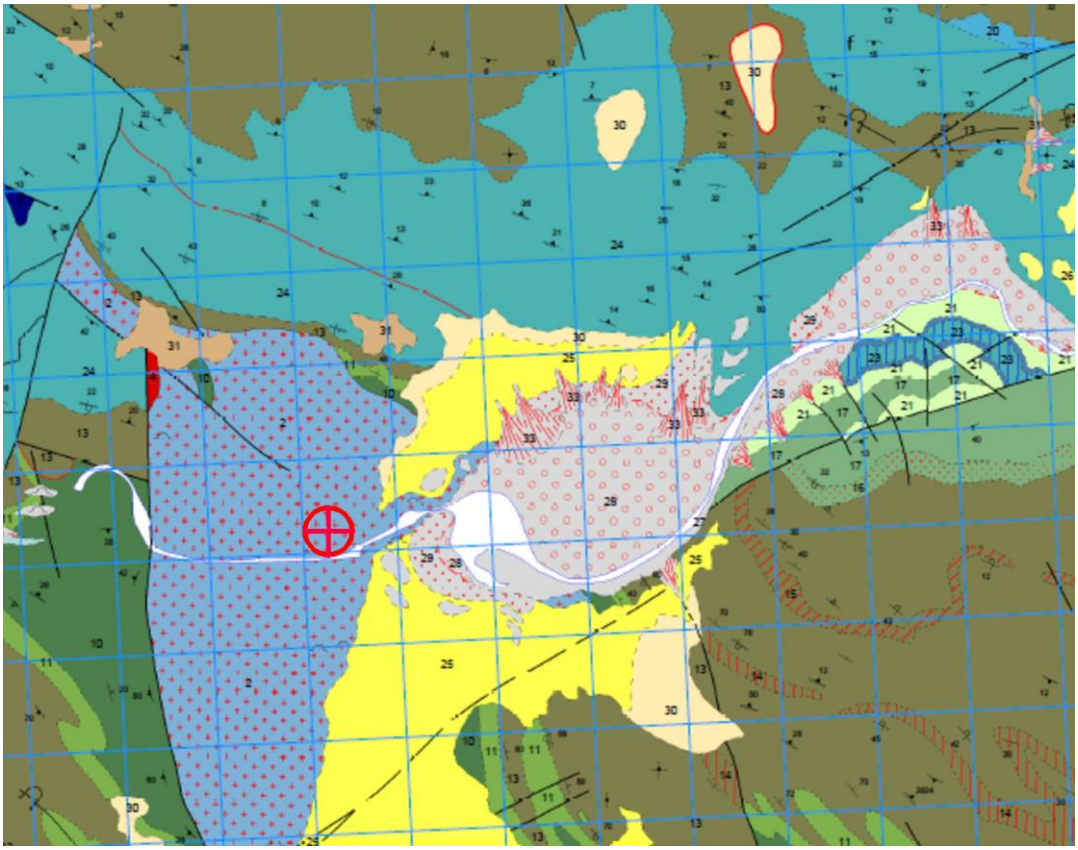


Ilustración 9: Situación del vertedero sobre el granito adallemítico

Fuente: Hoja nº190 de la serie Magna del IGME

3 DIMENSIONAMIENTO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

3.1 Celda o vaso principal

3.1.1 Dimensionamiento

Para el dimensionamiento de la celda de vertido, se estima que la entrada de residuos al vertedero será de 10.000 m^3/año procedentes mayoritariamente de las diferente empresas situadas en el Parque Empresarial de As Pedreiras.

Cálculo del volumen

Para el cálculo del volumen total de la celda se deberá tener en cuenta que:

- La entrada de residuos anual se estima en 10.000 $m^{3.}$
- La vida útil del vertedero será de 10 años

De esta forma de obtiene que la capacidad total de la celda ha de ser aproximadamente de 100.000 m^3.

Este volumen de 100.000 m^3 no ha de ser el volumen total de la celda de vertido, sino el volumen total efectivo, es decir, al volumen de la celda se le deberá restar el volumen ocupado por el camino de acceso al fondo del vertedero y el volumen de la barrera de impermeabilización, que como se verá más adelante, será de 1.50 m y se dispondrá en el fondo del vaso.

$$Vol_{efectivo} = Vol_{celda} - Vol_{acceso} - Vol_{barrera}$$

Las comprobaciones y cálculos del volumen se realizarán posteriormente en el apartado 4.6 a través del software AutoCAD Civil 3D.

Ejecución de los taludes

Se deberá distinguir entre los taludes interiores y exteriores al vaso, pues cada uno requiere de unas especificaciones técnicas diferentes.

Para la construcción de los taludes interiores se empleará una pendiente 3H:1V, dado que garantiza la correcta ejecución de los taludes, el mantenimiento de las propiedades de la capa de impermeabilización, la maniobrabilidad y se adapta a la orografía del terreno.

Para la realización de los taludes exteriores de la celda, tanto en desmonte como en terraplén, bastará con emplear una pendiente 2H:1V.

Finalmente, teniendo en cuenta los aspectos anteriores se obtiene el siguiente dimensionamiento de la celda:

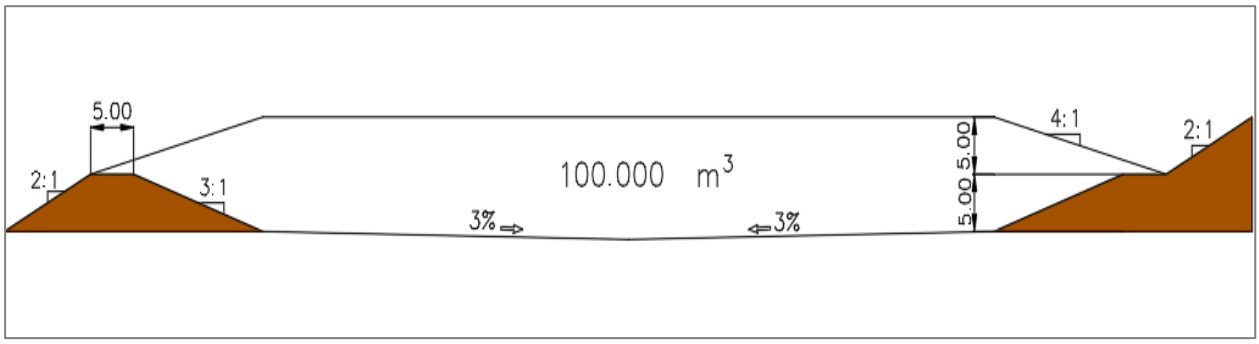


Ilustración 10: Sección transversal tipo

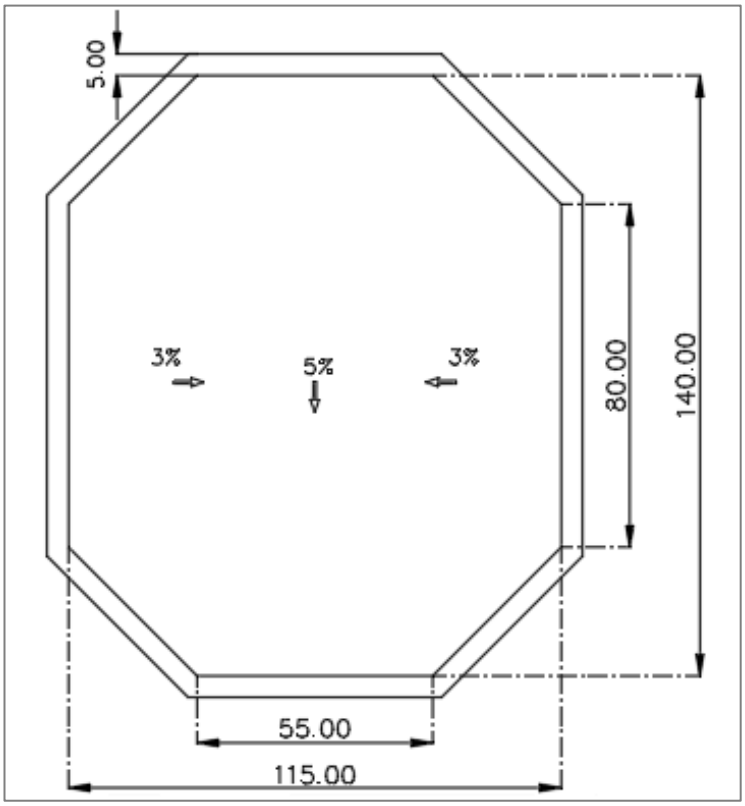


Ilustración 11: Dimensionamiento final en planta

3.1.2 Impermeabilización

Para la definición de la impermeabilización de fondo de vaso del vertedero de residuos inertes se han tenido en cuenta las recomendaciones establecidas en el *Real Decreto 1481/2001, de 27 de Diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.*

Este Real Decreto propone como solución de referencia, de las barreras de protección que dispondrán los vertederos de residuos inertes bajo la masa de residuos y las condiciones a exigir a dichas barreras, como mínimo las recogidas en la imagen siguiente:

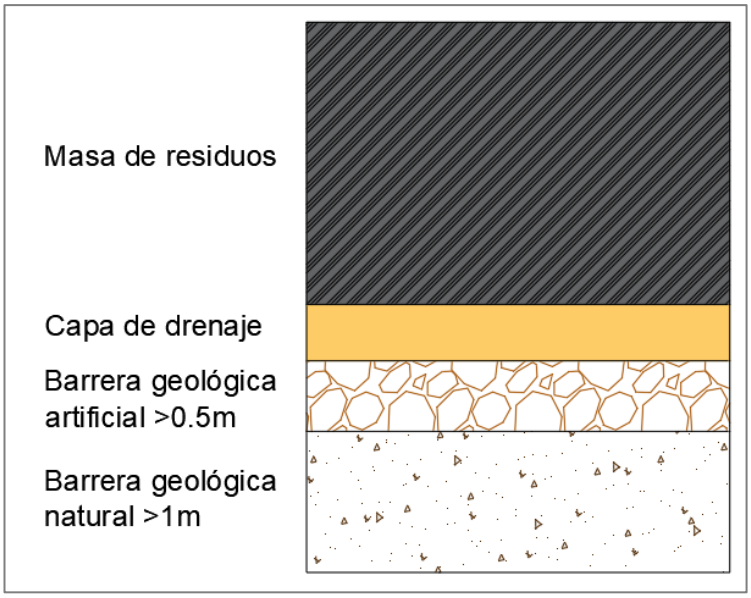


Ilustración 12: Impermeabilización del vaso

3.1.3 Recogida de lixiviados

Los lixiviados se recogerán a través de un sistema de recogida de lixiviados formado por una capa drenante situada en el fondo del vertedero y completado con una tubería PEAD para canalizar los lixiviados hasta las balsas de decantación.

Una vez recogidos los lixiviados saldrán por gravedad desde la celda a las balsas de decantación y posteriormente tras la decantación de los sólidos en suspensión y la realización de los controles del plan de vigilancia, se devolverá el agua al río pues en este caso por tratarse de un vertedero de residuos intertes las aguas no estarán contaminadas.

Para ello se dota al vaso con las siguientes inclinaciones:

- Pendiente longitudinal: 5%
- Pendiente transversal: 3%

3.2 Sellado

3.2.1 Dimensionamiento

El sellado se dimensionará conforme a la consecución de los siguientes objetivos:

- Minimizar la infiltración de las aguas de lluvia.
- Limitar las emisones de polvo a la atmósfera.
- Integrar la instalación en el medio.
- Proporcionar una superficie apta para la revegetación y regeneración del área clausurada.

Se diseña el sellado con taludes generales 4H:1V para evitar posibles desprendimientos y asegurando la estabilidad, además de mantener las propiedades de la capa de impermeabilización.

3.2.2 Impermeabilización

Las capas que conformarán la cobertura final del depósito son las que se muestran en la siguiente imagen:

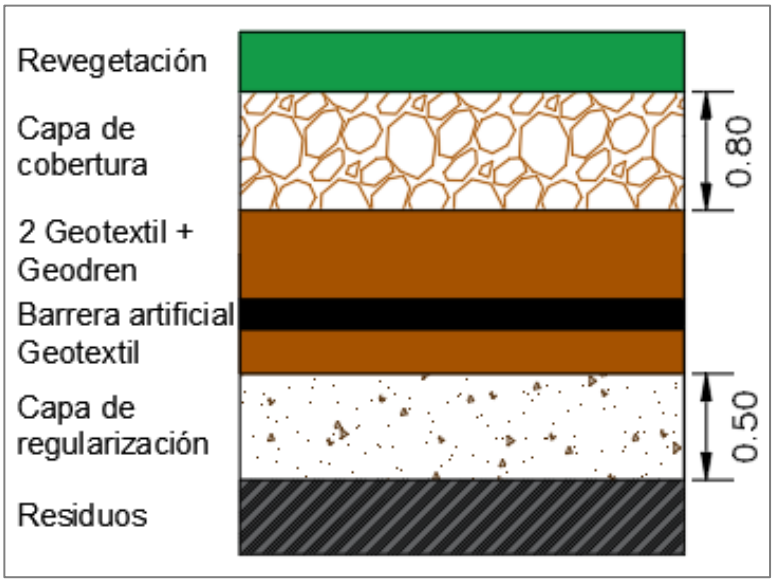


Ilustración 13: Impermeabilización del sellado

3.3 Balsas de decantación

3.3.1 Dimensionamiento

3.3.1.1 Dimensionamiento de las balsas de lixiviados

Los lixiviados generados en un vertedero de residuos inertes no estarán contaminados debido a la naturaleza de los residuos admitidos y simplemente contendrán sólidos y pequeñas partículas en suspensión.

Por tanto, tras la decantación de los sólidos en suspensión y la realización de los controles del plan de vigilancia pertinentes, se autorizará el vertido al cauce natural. Para ello se dispondrá de una pendiente longitudinal del 2%.

Los controles del plan de vigilancia se realizarán una vez al mes, ya que aunque los residuos autorizados no producen contaminación, algunos residuos como pueden ser los procedentes de la construcción y demolición pueden contener restos de barnices y pinturas, tuberías de PVC, etc.

El dimensionamiento se realiza a partir del cálculo de los lixiviados producidos en el mes más desfavorable, para ello a la aportación debida a las precipitaciones mensuales se le deberá restar la evapotranspiración y la capacidad de campo o de retención de los residuos.

<u>Aportación debida a las precipitaciones</u>

El vertedero consta de una única celda cuya superficie de recepción es de 14.317 m^2 en la cual se producirá la generación de los lixiviados. Se impermeabiliza todo el fondo del vaso, por lo que el coeficiente de escorrentía se podría intuir elevado en la cuenca del vertedero dadas las propiedades de las láminas. Sin embargo, a medida que se vaya llenando el depósito, la capacidad de campo de la masa de residuos (la cantidad de agua que es capaz de retener) hace disminuir el coeficiente de escorrentía. Dicho coeficiente se corresponderá con el de la celda en explotación, es decir, con parte de residuos.

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía se acude a la *Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial* cuya formulación es la siguiente:

$$C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_o} - 1\right)\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_o} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_o} + 11\right)^2}$$

Dónde:

$P_d(mm)$: Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T considerado.

$P_o(mm)$: Umbral de escorrentía.

K_A: Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca.

En este caso $K_A = 1$ ($A < 1Km^2$).

La Norma establece la siguiente formulación para el Umbral de escorrentía:

$$P_o = P_{O_i} \times \beta$$

Dónde:

$P_{O_i}(mm) =$ Valor inicial del Umbral de escorrentía.

$\beta =$ Coeficiente corrector del Umbral de escorrentía.

El valor inicial del Umbral de escorrentía según la Tabla 2.3 de la *Norma 5.2-IC.* para escombros y vertederos con grupo de suelo tipo A es de $P_{O_i} = 20\ mm$.

Se considera un período de retorno T = 25 años para este tipo de construcciones.

El coeficiente corrector del Umbral de escorrentía para la Región 11 en la que se encuentra la obra con un T=25 años según la Tabla 2.5 de la norma es de $\beta = 1{,}13$. Por tanto:

$$P_o = P_{O_i} \times \beta = 20 \times 1{,}13 = 22{,}6\ mm.$$

La precipitación diaria correspondiente al período de retorno T se obtiene del documento de *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular* del Ministerio de Fomento:

$$P_d = \bar{P} \times K_T$$

A patir de las isolíneas del mapa del Anejo del citado documento se extrae que el valor medio de la máxima precipiación diaria anual es $\overline{P} = 50\ mm$ y que el coefieciente de variación es $C_v = 0{,}34$.

Para $C_v = 0{,}34$ y T = 25 años en la Tabla 7.1 se obtiene un factor de amplificación $K_T = 1{,}7$. Por tanto:

$$P_d = \bar{P} \times K_T = 50 \times 1{,}7 = 85\ mm.$$

Finalmente se obtiene un valor para el coeficiente de escorrentía de C = 0,35.

Una vez obtenido el coeficiente de escorrentía, se calcula la superficie efectiva multiplicando el área expuesta por dicho coeficiente:

$$Sup\ efec = Área\ \exp \times Coef\ escorrentía = 14.317 \times 0{,}35 = 5.011\ m^2$$

Multiplicando esta superficie efectiva por el valor de la precipitación mensual se obtiene la aportación debida a las precipitaciones:

Tabla 3: Aportación mensual debido a las precipitaciones

Mes	Precipitación (mm)	Aportación (m^3/mes)
Enero	89	445
Febrero	66	330
Marzo	59	295
Abril	72	360
Mayo	64	320
Junio	36	180
Julio	20	100
Agosto	22	110
Septiembre	57	285
Octubre	112	561
Noviembre	103	516
Diciembre	112	561

Se utilizan los datos de precipitación procedentes de Instituto Nacional de Estadística para Ourense.

Pérdidas debido a la evapotranspiración

El cálculo se ha realizado mediante el método de Thornthwaite, basado en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración del día y el número de días del mes.

Los datos de temperatura y luz han sido extraídos a través del Instituto Nacional de Estadística.

Tabla 4: Cálculo de la evapotranspiración

Mes	Temperatura	i	ETP sin corregir	Nº días mes	Nº horas luz día	ETP corregida (mm/mes)	ETP corregida (m^3/mes)
Enero	7,2	1,7	15,9	31	3,2	4,5	41,8
Febrero	8,1	2,0	19,2	28,5	3,0	4,6	42,8
Marzo	12,1	3,8	37,2	31	6,4	20,8	193,5
Abril	15,3	5,4	54,7	30	6,1	27,9	259,6
Mayo	18,1	7,0	72	31	9,6	59,8	556,4
Junio	22,5	9,7	103	30	10,1	87,2	811,4
Julio	24,5	11,0	118,4	31	10,4	106,2	986,3
Agosto	22,8	9,9	105,2	31	8,0	72,5	674,68
Septiembre	19,4	7,7	80,7	30	7,6	51,0	474,6
Octubre	16,1	5,8	59,4	31	4,1	21,0	195,4
Noviembre	13,1	4,3	42,4	30	3,2	11,4	106,08
Diciembre	11,6	3,5	34,7	31	2,2	6,6	61,41
		I=72,4	a=1,642		Sup a drenar=14.317-5.011=9.306 m^2		

Dónde:

$$i = \left(\frac{Temp}{5}\right)^{1.514}$$

$$I = \sum i$$

$$a = 675 \times 10^{-9} \times I^3 - 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 1792 \times 10^{-5} \times I + 0{,}49239$$

$$ETP_{\text{sin}\,corregir} = 16 \times \left(\frac{10 \times Temp}{I}\right)^a$$

$$ETP\ (mm/mes) = ETP_{\text{sin}\,corregir} \times \frac{nº\ horas\ luz\ día}{12} \times \frac{n\ ºdías\ mes}{30}$$

$$ETP\ (m^3/mes) = \frac{ETP\ (mm/mes)}{1000} \times Sup\ a\ drenar$$

Balance hídrico mensual

Se procede ahora al cálculo del balance hídrico mensual para la obtención del mes más desfavorable, y así dimensionar el volumen de las balsas de lixiviados.

Este balance se obtiene restándole al volumen de precipitaciones la parte que se evapora, es decir, la evapotranspiración.

Tabla 5: Balance hídrico mensual

Mes	Precipitaciones (m^3/mes)	Evapotranspiración(m^3/mes)	Balance (m^3/mes)
Enero	445	41,8	403,2
Febrero	330	42,8	287,2
Marzo	295	193,5	101,5
Abril	360	259,6	100,4
Mayo	320	556,4	0
Junio	180	811,4	0
Julio	100	986,3	0
Agosto	110	674,68	0
Septiembre	285	474,6	0
Octubre	561	195,4	365,6
Noviembre	516	106,08	409,92
Diciembre	561	61,41	499,59

Por tanto, el mes más desfavorable será Diciembre.

Capacidad de campo

La capacidad de campo de los residuos es la cantidad de agua o humedad que éstos son capaces de retener.

Se estimará la capacidad de campo aproximadamente en un 20% de los residuos depositados, y de un 5% las pérdidas debido a infiltraciones.

$$CC = 0{,}2 \times Residuos - Infiltraciones = 0{,}2 \times 1000 \frac{m^3}{mes} - 0{,}05 \times (0{,}2 \times 1000) = 190 \frac{m^3}{mes}$$

Capacidad final de la balsa

El volumen final necesario de la balsa se obtendrá de restarle al volumen de precipitaciones, la evapotranspiración y la capacidad de campo de los residuos.

$$Vol = Prec - Evap - CC = 561 - 61{,}41 - 190 = 309{,}6\, m^3$$

3.3.1.2 Dimensionamiento de las balsas de pluviales

Se han diferenciado varios caudales de pluviales en función de su procedencia y de la posibilidad de poseer arrastre de sólidos en suspensión que sean precisos decantar. En este caso se llevarán a la balsa de pluviales las aguas recogidas por la cuneta perimetral del camino de coronación.

La función de la balsa va a ser la de retener el agua de escorrentía y pluviales durante un período de tiempo suficiente que permite su clarificación y posibilitar así su vertido al cauce natural.

Para el dimensionamiento de la balsa se va a proceder al cálculo del Volumen de máxima avenida. Para ello, se seguirá el Método Racional contenido en la *Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial* en el que:

$$Q = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A}{3{,}6} \cdot K_t$$

Dónde:

$Q(m^3/s)$: Caudal máximo anual correspondiente al período de retorno T, en el punto de desagüe.

$I(T, t_c)\ (mm/h)$: Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T considerado, para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración de la cuenca.

C: Coeficiente medio de escorrentía.

$A(Km^2)$: Área de la cuenca o superficie considerada.

K_t: Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

La intensidad de precipitación $I(T, t_c)$ se obtendrá por medio de la siguiente fórmula:

$$I(T, t_c) = I_d \cdot F_{int}$$

Dónde:

$I_d\ (mm/h)$: Intensidad media diaria de precipitación corregida.

F_{int}: Factor de intensidad.

La intensidad media diaria de precipitación se obtiene de la siguiente formulación:

$$I_d = \frac{P_d . K_A}{24} = 3{,}6$$

Con $K_A = 1\ (A < 1\text{Km}^2)\ y\ P_d = 85mm$ (Calculado anteriormente).

Para el cálculo del factor de intensidad F_{int} se tomará el máximo valor de:

$$F_{int} = máx(F_{a,}F_b)$$

Dónde:

F_a: Factor obtenido del índice de torrencialidad.

F_b: $Factor\ obtenido\ a\ partir\ de\ las\ curvas\ IDF\ del\ pluviógrafo.$

En este caso al no disponerse de las curvas IDF del pluviógrafo $F_{int} = F_a$.

Obtención de F_a:

$$F_a = \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{3,5287-2,5287\cdot t^{0,1}}$$

(I_1/I_d) se obtiene de la Figura 2.4 de la Normativa, que para la zona de estudio posee un valor de 9.

t es igual al tiempo de concentración t_c en horas.

Cálculo del tiempo de concentración:

$$t_c = 0,3 \cdot L_c^{0,76} \cdot J_c^{-0.19}$$

Dónde:

$t_c(horas)$: Tiempo de concentración.

$L_c(Km)$: Longitud del cauce.

J_c: Pendiente media del cauce.

Coeficiente de uniformidad K_t:

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

Tabla 6: Cálculo del caudal de máxima avenida

Cálculo del cuadal de máxima avenida	
Coeficiente de escorrentía (C)	0,35
Superficie considerada (A)	0,004
Longitud del cauce (L_c)	0,15
Pendiente media del cauce (J_c)	0,05
Tiempo de concentración (T_c)	0,12
Cieficiente de uniformidad (K_t)	1,005
Factor de intensidad (F_{int})	26
Intensidad media diaria (I_d)	3,6
Intensida de precipitación para T y t_c (I)	94
Caudal máximo anual (Q)	0,04

Una vez obtenido el caudal de máxima avenida, el volumen de máxima avenida se obtiene multiplicando el caudal por el tiempo de concentración:

$$V = 18\ m^3$$

Finalmente, teniendo en cuenta los aspectos anteriores se obtiene el siguiente dimensionamiento de las balsas:

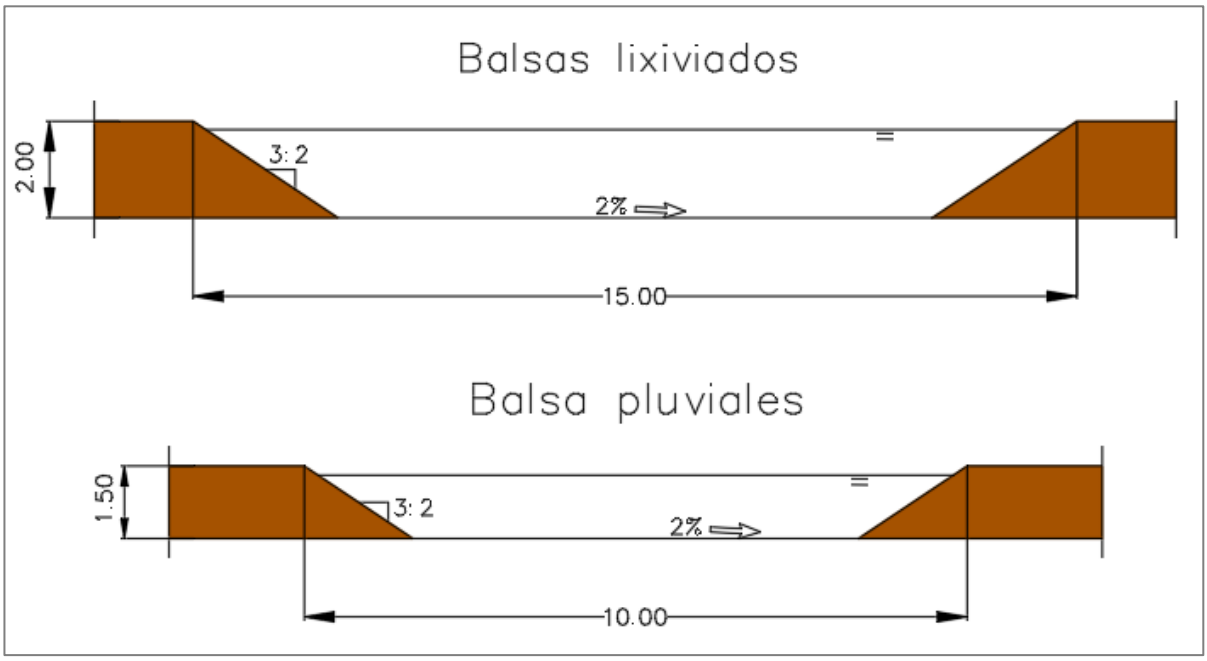


Ilustración 14: Sección balsas de decantación

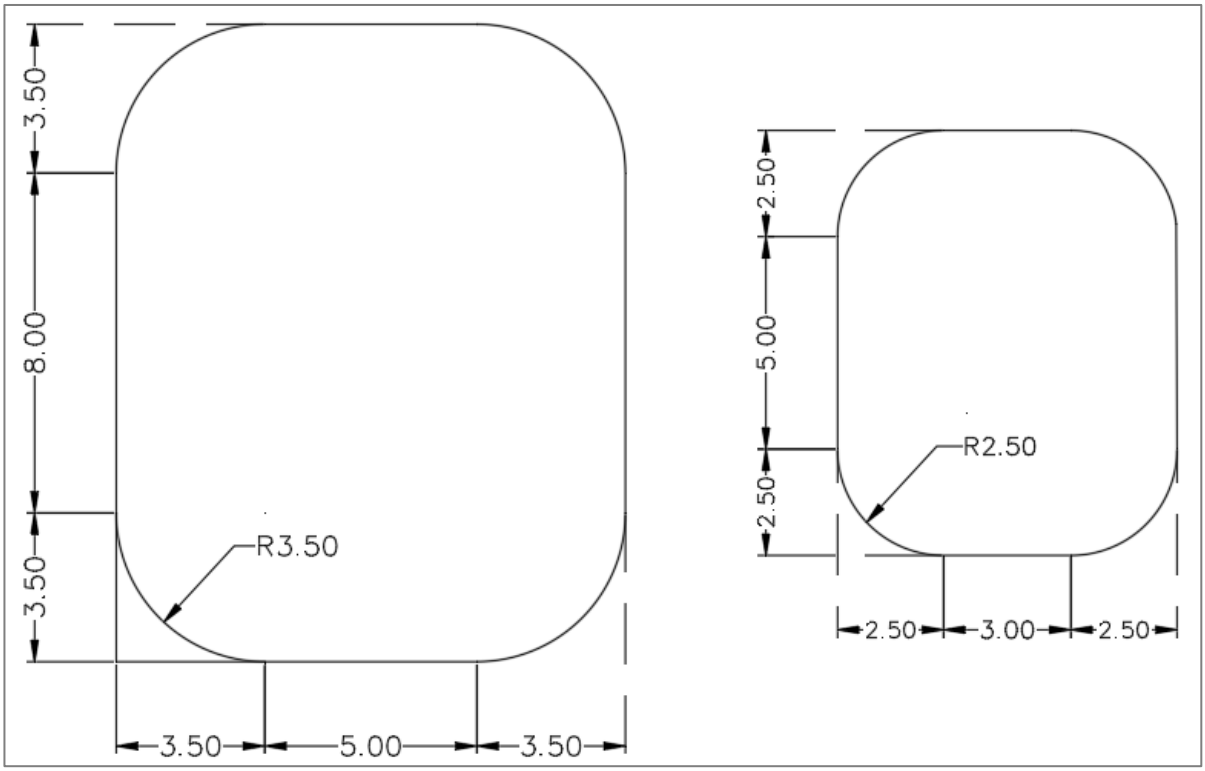


Ilustración 15: Planta balsas de decantación

Las comprobaciones y cálculos del volumen se realizarán posteriormente en el apartado 4.6 a través del software AutoCAD Civil 3D.

3.3.2 Impermeabilización

Las capas que conformarán la barrera de impermeabilización de las balsas de decantación son las que se muestran en la siguiente imagen:

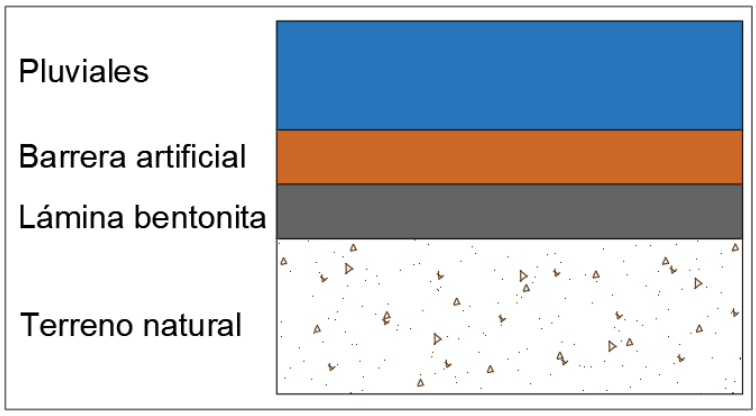


Ilustración 16: Barrera de impermeabilización balsas

3.4 Camino de acceso

Trazado

A la hora de realizar el proyecto del camino de acceso no será necesario el cumplimiento de la normativa *Norma 3.1-IC. Trazado* tanto para el diseño en planta como en alzado o sección transversal, ya que no recoge los caminos de servicio como objeto de la presente norma.

Si será de interés el empleo de dicha normativa como guía, especialmente a la hora de realizar la Alineación y el Perfil en AutoCAD Civil 3D pues servirá de comprobante para algunos parámetros de diseño.

Dimensionamiento del firme

Dadas las características de la obra por la que circularán vehículos con elevadas cargas, se decide el empleo de los criterios de la *Norma 6.1-IC. Secciones de firme*. La normativa emplea dos factores fundamentales para la determinación de los tipos de firme que es posible emplear, la categoría de tráfico pesado y la categoría de la explanada.

El parámetro que utiliza la normativa para la selección de la categoría de tráfico pesado es la Intensidad Media Diaria de vehículos pesados (IMDp). Para la extracción de dicho valor se parte de los siguientes datos:

- El volumen de residuos anual será de 10.000 m^3/año.
- La capacidad de carga de un camión de 3 ejes es de 16 m^3.
- Los días laborables al año se estiman en 260.

Con ello se obtiene un IMDp=2,4 veh/día, entrando con dicho valor en la Tabla 1.b de la Norma se obtiene una categoría de tráfico pesado T42.

A la hora de seleccionar la categoría de la explanada, al no disponer de un estudio geotécnico adecuado de la zona y aplicando la geología estudiada se realiza la hipótesis de que el terreno natural existente se clasifica como suelo tolerable tipo E-2.

Para la selección final del firme utilizando el catálogo propuesto en la Norma y teniendo en cuenta la categoría de tráfico (T42) y la explanada (E2):

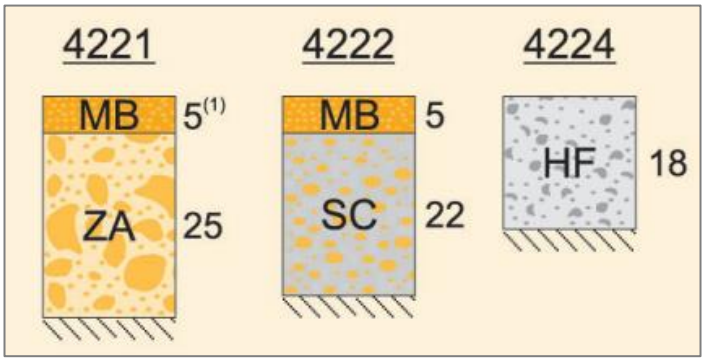


Ilustración 17: Figura 2.2 de la Norma 6.1-IC.

Se obtará finalmente por una capa de Hormigón de Firme de 18 cm.

Criterios de diseño

Los criterios principales a emplear a la hora del diseño del camino de acceso son los siguientes:

- Siempre que sea posible la pendiente de la vía no debe superar un máximo del 11%.
- La sección transversal estará formada por un carril de 5 metros de ancho y cunetas longitudinales.
- Se realizará un trazado en planta que posibilite y facilite la maniobrabilidad y acceso de los vehículos.
- El trazado en alzado se llevará a cabo de forma que los movimientos de tierra producidos sean mínimos.

Punto de conexión con la N-120

No se contempla la realización de un enlace directo del camino de acceso con la N-120, ya que existe un nudo de conexión a poco más de un kilómetro del vertedero en dirección este. Además se aprovechará el camino existente realizado para dar acceso a dos naves y que posee conexión directa con el nudo de la N-120.

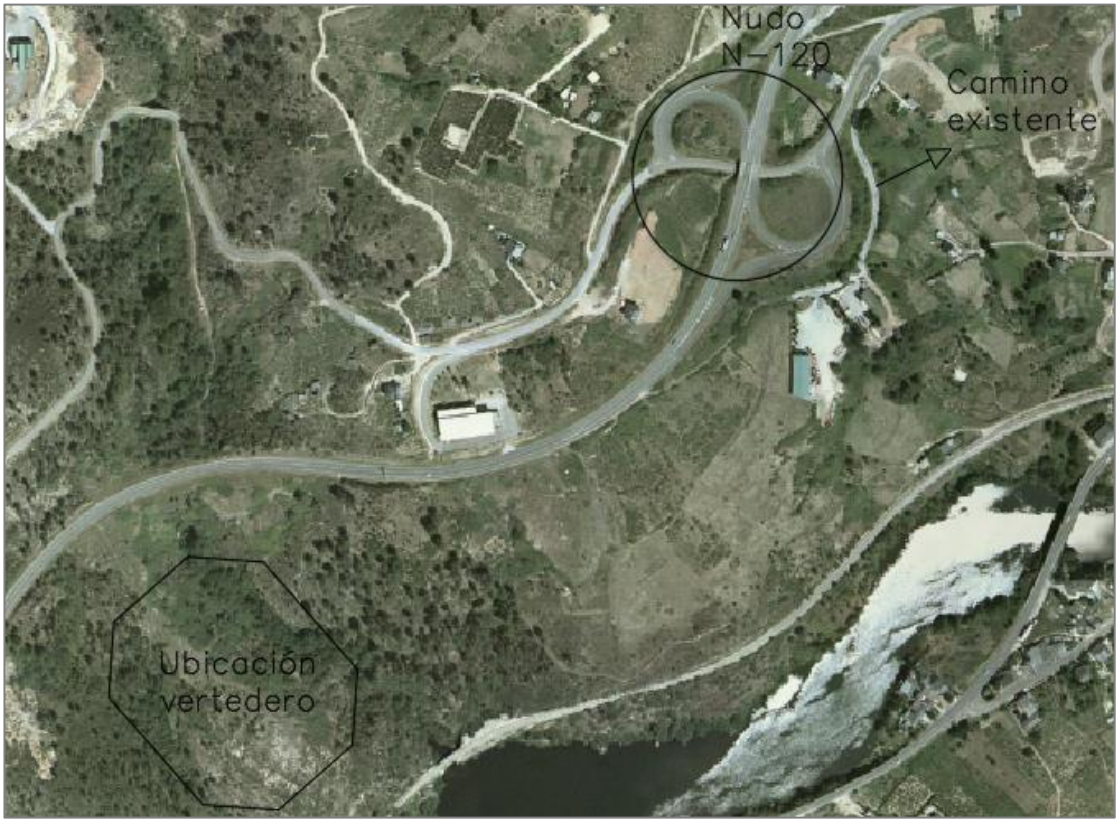


Ilustración 18: Conexión con la N-120

4 MODELADO MEDIANTE AUTOCAD CIVIL 3D

4.1 Creación de la superficie

El primer paso antes de la creación de la superficie es la georreferenciación del espacio modelo, para ello deben definirse el sistema de referencia terrestre empleado y la proyección. En España el sistema de referencia que se emplea habitualmente es el ETRS89 y como proyección las coordenadas UTM, que constan de 30 husos en función de la localización, que en este caso será la 29. Por tanto en 'Configuración / Editar configuración de dibujo' se selecciona como sistema de coordenadas *Europe ETRS89 zone29*.

Existen diferentes formas de crear una superficie en AutoCAD Civil 3D, en este caso se ha decido crear a partir de un Modelo Digital del Terreno con curvas de nivel cada 5 metros (MDT05) descargado directamente desde el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) al cual se accede a través del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Para ello en 'Superficie / Crear superficie a partir de DEM (Modelo Digital de Elevaciones)' se selecciona la ruta del archivo descargado y se nombra a la superficie como *Terreno*.

Una vez creada la superficie se procede al recorte de la misma para facilitar su manejo con mayor sencillez y rapidez, para ello dentro de la superficie *Terreno* se añade como 'Contorno' la delimitación correspondiente creada a partir de las herramientas de dibujo. Además se realiza un suavizado de las curvas de nivel en 'Editar estilo de superficie / Curvas de nivel'.

Se pueden seleccionar además diferentes formas de visualización de la superficie dependiendo de los requerimientos y niveles de detalle exigidos en cada momento, accediendo al apartado 'Propiedades de superficie / Editar estilo de superficie'. Para este proyecto se empleará fundamentalmente como visualización curvas de nivel cada 1 metro con curvas de nivel maestras cada 5 metros.

Por último, para facilitar el manejo y la comprensión de la superficie se puede activar una ortofoto base en la pestaña de 'Geoubicación'.

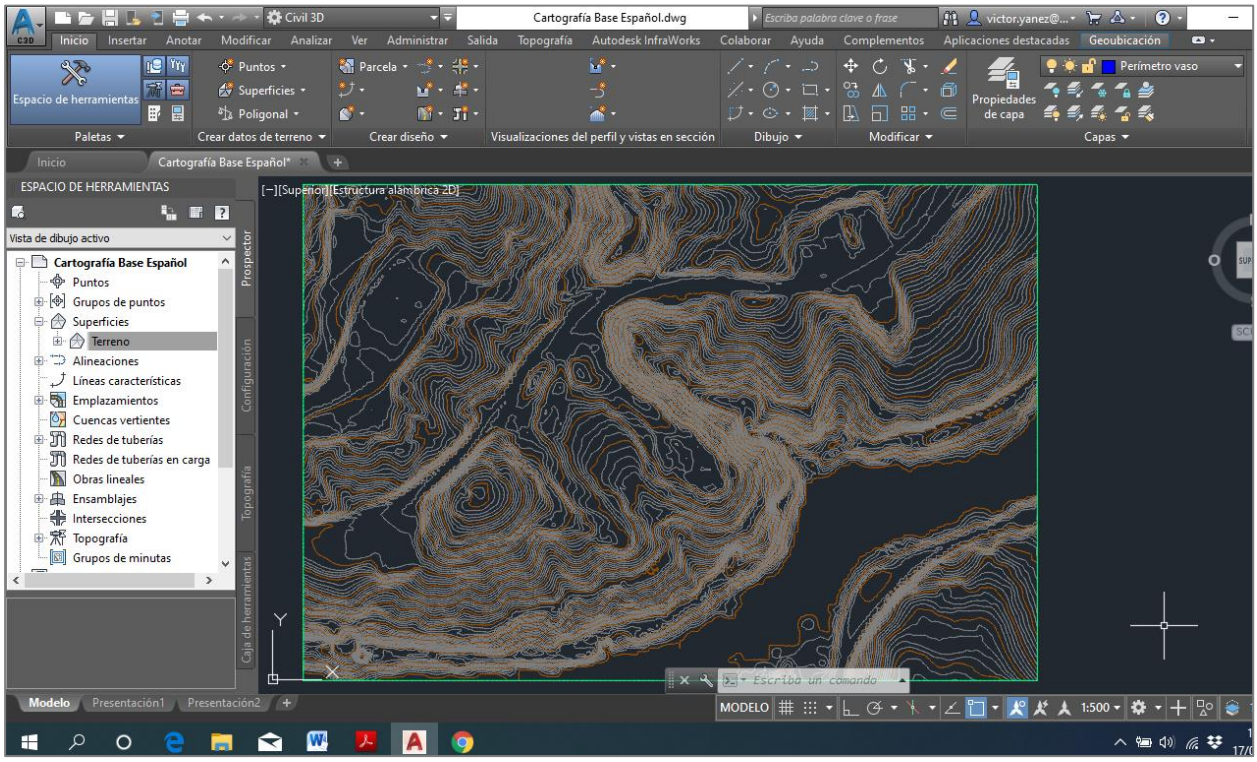


Ilustración 19: Superficie Terreno recortada con curvas de nivel cada 1-5metros.

4.2 Celda o vaso principal

El proceso para la eleaboración de la celda o vaso de vertido es el siguiente:

4.2.1 Diseño en planta de la celda

El primer paso consiste en la realización del dibujo en planta de la celda con las dimensiones indicadas en la *Ilustración 11* del apartado 3 anterior.

El diseño se realiza con las 'Herramientas de dibujo' trazando en primer lugar el borde interior del vaso y posteriormente realizando un 'desfase' de 5 metros correspondiente al borde exterior. Entre los dos bordes queda delimitado el camino de coronación.

Una vez dibujados ambos contornos es importante convertirlos en polilíneas con la función 'EDITPOL', ya que si no se transforman en polilíneas posteriormente no se podrán crear las explanaciones y los taludes a partir de ambos contornos.

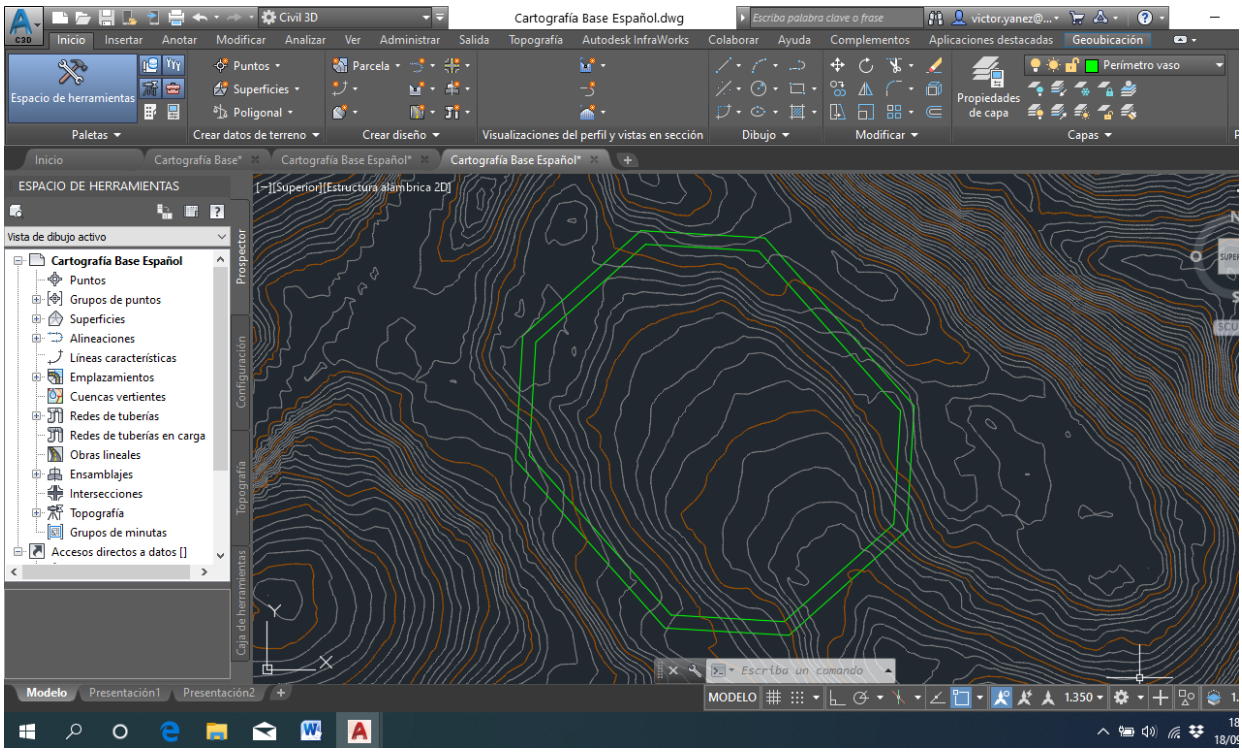


Ilustración 20: Dibujo en planta de la celda de vertido

4.2.2 Realización de los perfiles del terreno

El siguiente paso consiste en la realización de los perfiles del terreno, con estos perfiles se pretende tener una aproximación de la orografía del terreno para decidir a que cota se proyectará el vaso de vertido. Esta cota no será definitiva, más tarde se modificará una vez modelada completamente la celda en función del balance de tierras.

Para la realización de los perfiles se define una línea que actúe como eje longitudinal del vertedero y se convierte en una alineación en 'Alineación / Crear alineación a partir de objeto'.

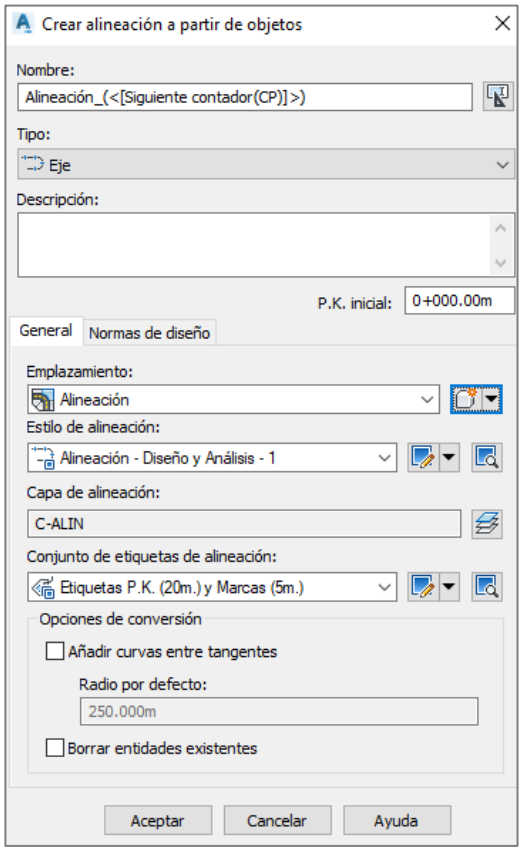


Ilustración 21: Creación de la alineación

Una vez creada la alineación se definen las líneas de muestreo a partir de ésta, que serán las líneas a partir de las cuales se realicen los perfiles transversales de la superficie *Terreno*. Para ello en 'Crear línea de muestreo', se selecciona en el menú que se despliega 'Por intervalo de P.K.' y a continuación se elige en la ventana emergente un ancho de 70 metros a cada lado de la alineación, incrementos de muestreo cada 20 metros y que realice los perfiles al inicio y al final de la alineación.

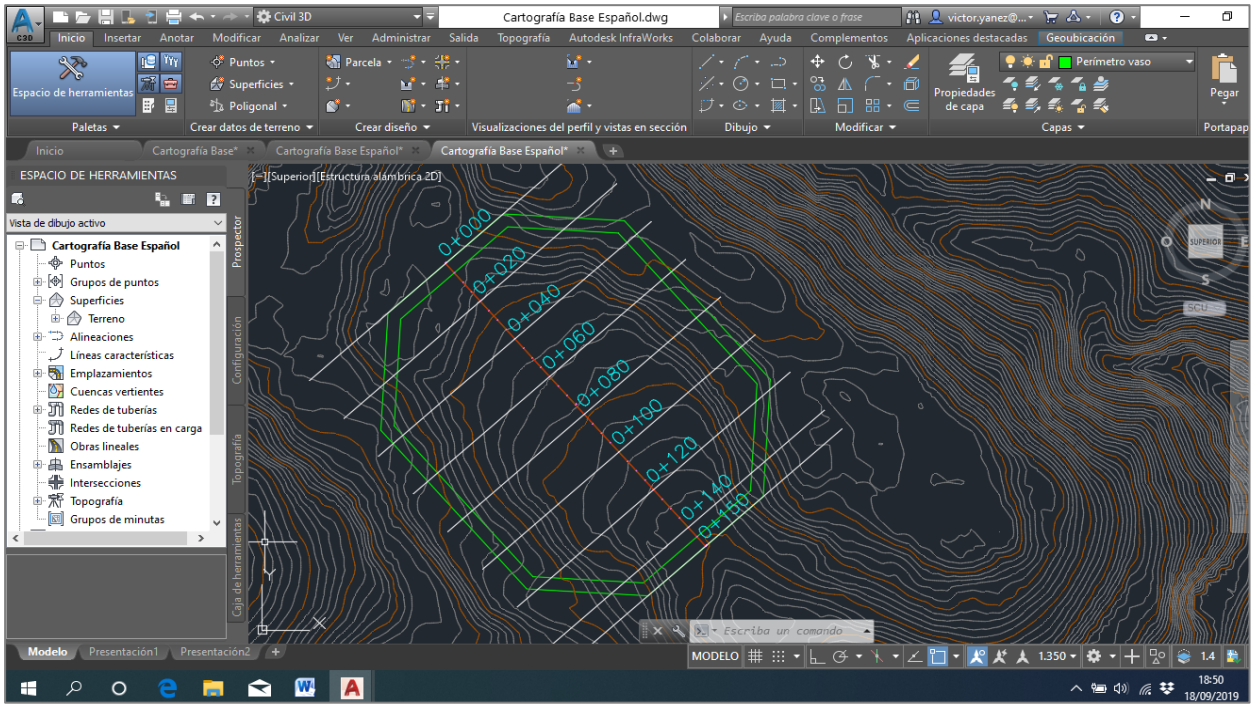


Ilustración 22: Línea de muestro con perfiles cada 20 metros

Por ultimo en 'Vistas en sección / Crear varias vistas' seleccionando la alineación y la línea de muestreo anteriormente creadas se generan los perfiles. Se puede cambiar la escala, los ejes y el diseño de los perfiles en 'Editar estilo de vista en sección'.

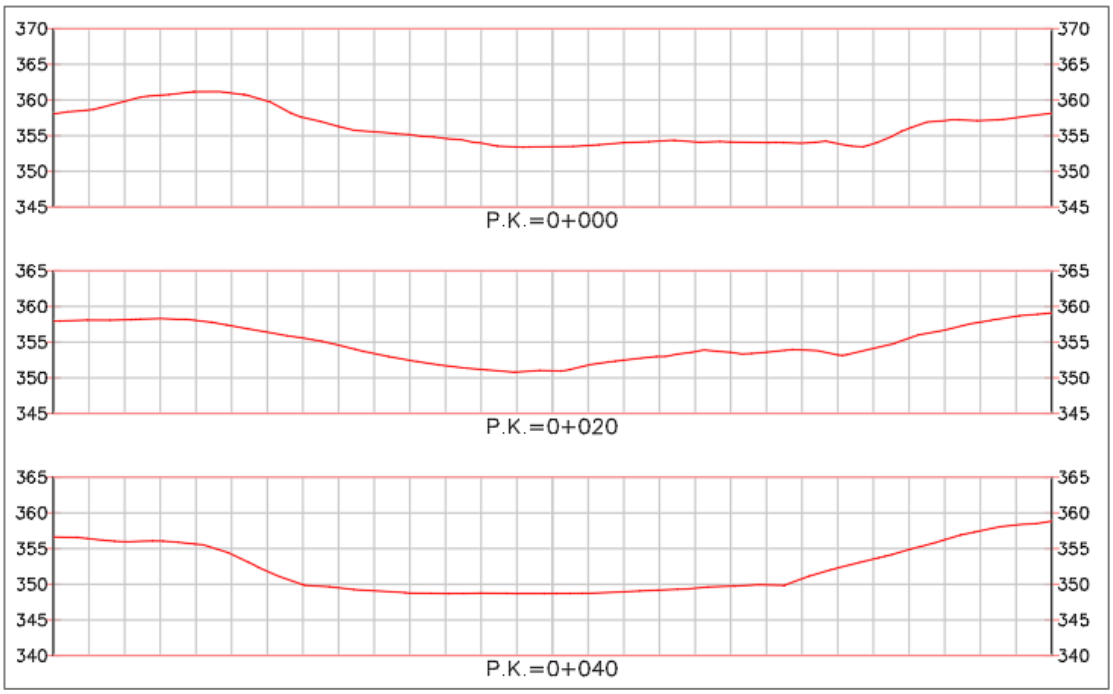


Ilustración 23: Perfiles P.K.=0+000 a P.K.=0+040

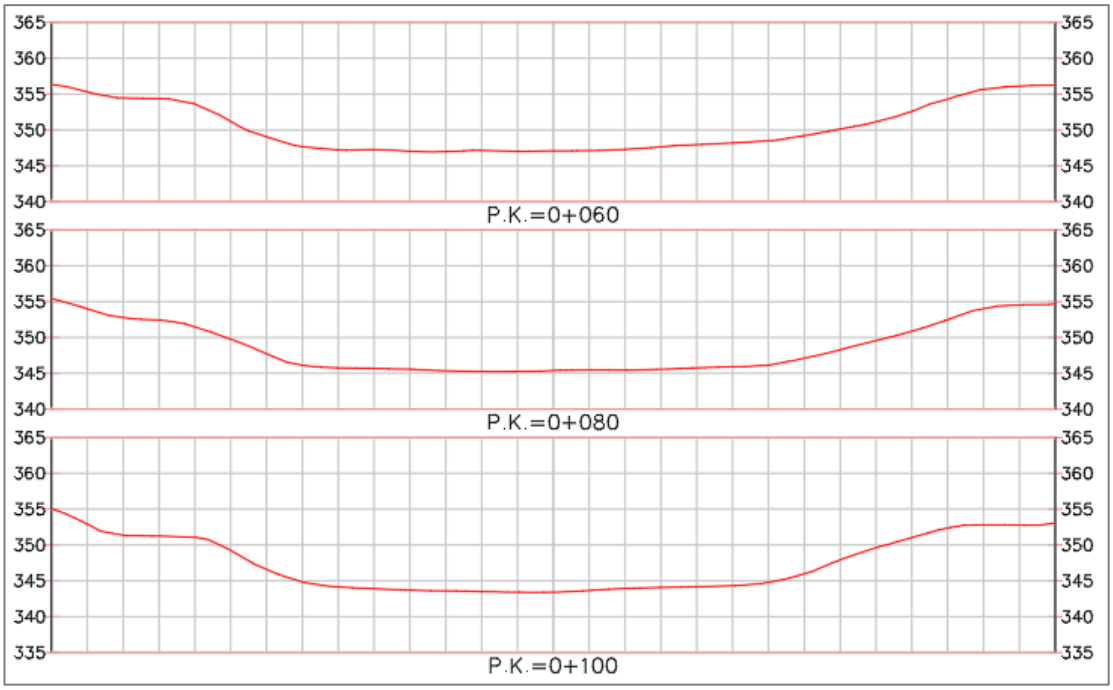


Ilustración 24: Perfiles P.K.=0+060 a P.K.=0+100

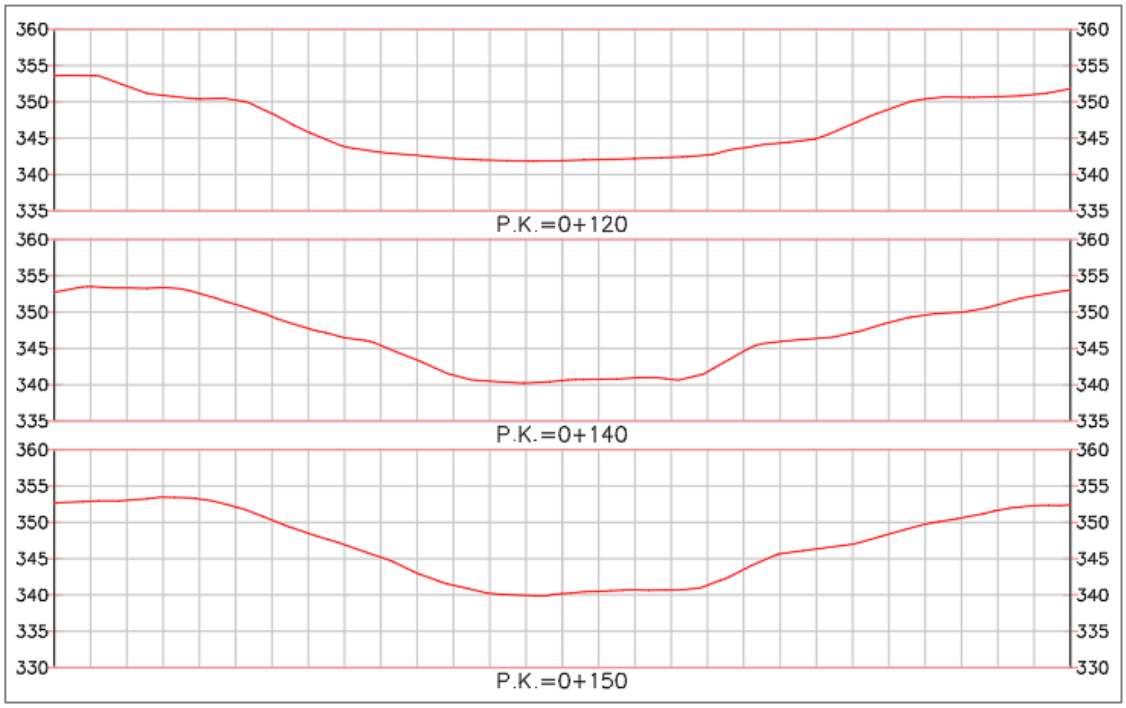


Ilustración 25: Perfiles P.K.=0+120 a P.K.=0+150

A partir de los perfiles anteriores se puede deducir en una primera estimación que la cota del fondo del vertedero se podría situar entre los 340-350 m aproximadamente, sin olvidar que debe de tener una pendiente longitudinal de aproximadamente el 5% para la recogida de lixiviados (todo el vertedero adoptará esta pendiente). La celda mide 5 metros de profundidad, los cuales habrá que sumar a las cotas del fondo del vaso para obtener las elevaciones del camino de coronación, que finalmente quedan de la siguiente forma:

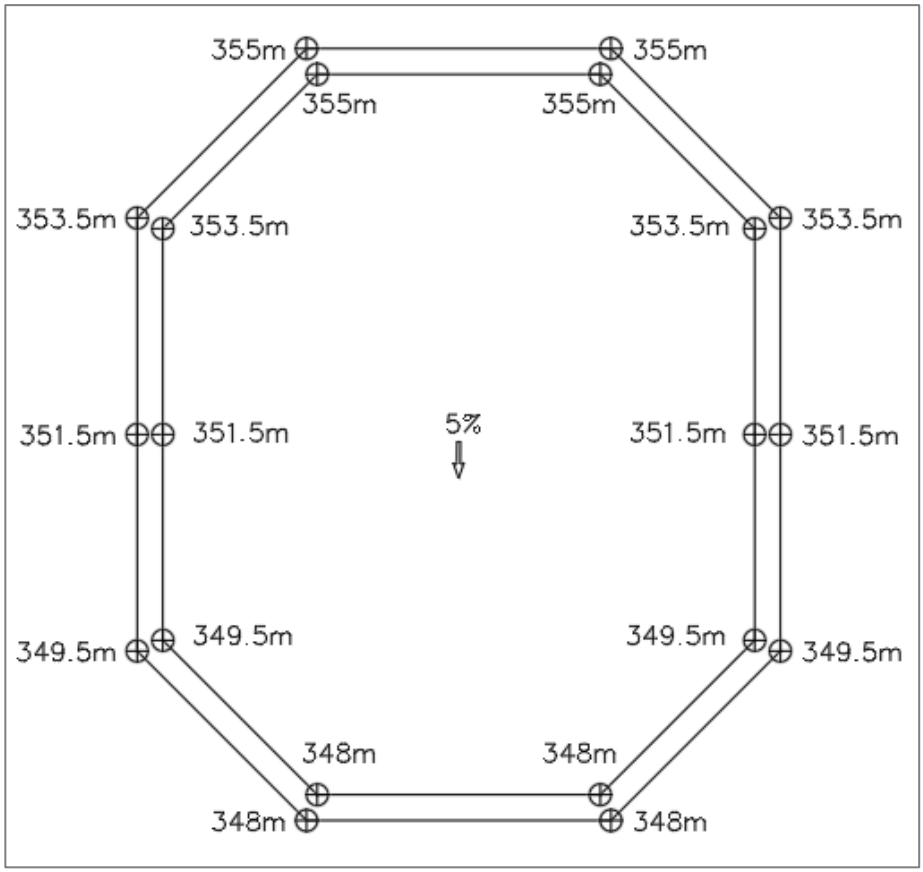


Ilustración 26: Cotas provisionales del camino de coronación

4.2.3 Creación de las explanaciones

Para asignar las elevaciones y posteriormente crear las explanaciones con los taludes correspondientes hay que convertir los dos contornos del camino de coronación en líneas características.

Las líneas características son polilíneas que se utilizan como líneas de rotura de superficies y a partir de las cuales se crean las explanaciones.

Para ello en 'Línea característica / Crear línea característica a partir de objeto' se seleccionan ambos contornos y en el cuadro desplegable:

- Se crea un emplazamiento con el nombre de *Vaso exterior (140x115).*
- Se elimina la opción de borrar entidades existentes.
- Se elimina la opción de asignar elevaciones, ya que en este caso se asignarán manualmente.

De esta forma se obtienen dos líneas carcaterísticas, una será el contorno exterior del camino de coronación y la otra el contorno interior.

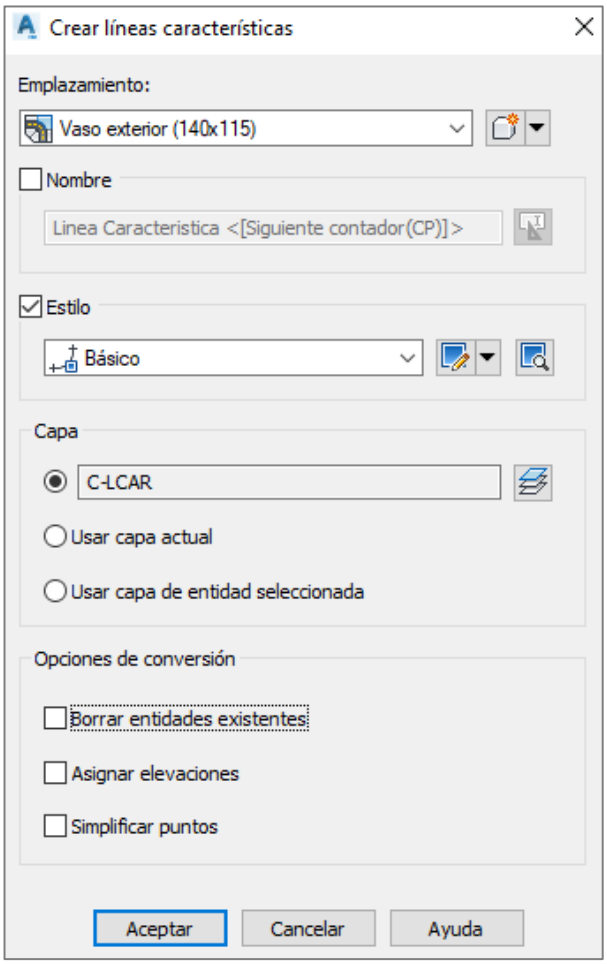
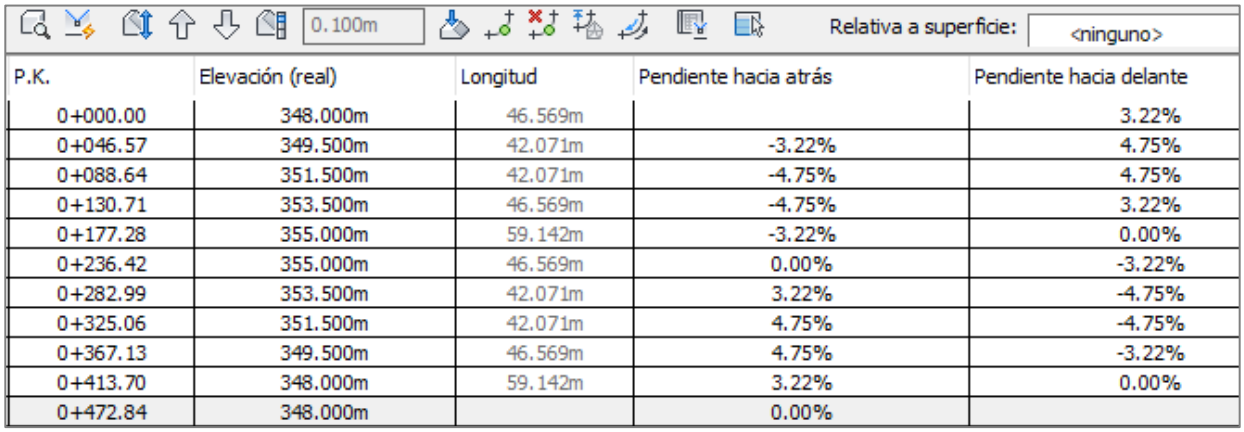


Ilustración 27: Creación de línea característica

Una vez creadas las líneas características los vértices automáticamente se convierten en puntos en los que introducir las cotas, se añadirán más puntos para mejorar la precisión seleccionando la línea característica y en la opción 'Insertar PI'.

Posteriormente en el 'Editor de elevaciones' se introducen manualmente las cotas provisionales de la *Ilustración 26* tal y como se puede observar en la siguiente imagen:



0.100m

Relativa a superficie: <ninguno>

P.K.	Elevación (real)	Longitud	Pendiente hacia atrás	Pendiente hacia delante
0+000.00	348.000m	46.569m		3.22%
0+046.57	349.500m	42.071m	-3.22%	4.75%
0+088.64	351.500m	42.071m	-4.75%	4.75%
0+130.71	353.500m	46.569m	-4.75%	3.22%
0+177.28	355.000m	59.142m	-3.22%	0.00%
0+236.42	355.000m	46.569m	0.00%	-3.22%
0+282.99	353.500m	42.071m	3.22%	-4.75%
0+325.06	351.500m	42.071m	4.75%	-4.75%
0+367.13	349.500m	46.569m	4.75%	-3.22%
0+413.70	348.000m	59.142m	3.22%	0.00%
0+472.84	348.000m		0.00%	

Ilustración 28: Introducción manual de las cotas

Una vez creadas las líneas características se puede proceder a la realización de las explanaciones:

Explanación exterior

La explanación exterior al vaso se crear a partir de la línea característica del contorno exterior del camino de coronación introduciendo una pendiente tanto en desmonte como en terraplén 2H:1V. Los pasos para su modelación en AutoCAD Civil 3D son los siguientes:

Primero se crea un nuevo grupo de explanación con el nombre *Explanación vaso* y se selecciona la creación automática de superficies, de esta forma se genera automáticamente una nueva superficie con la explanación creada y con el mismo nombre de la explanación, es decir, *Explanación vaso*. Además se selecciona como superficie base de volumen la superficie *Terreno* creada en el apartado 4.1, esto significa que los taludes se proyectarán desde la línea característica hasta esta superficie con la pendiente indicada.

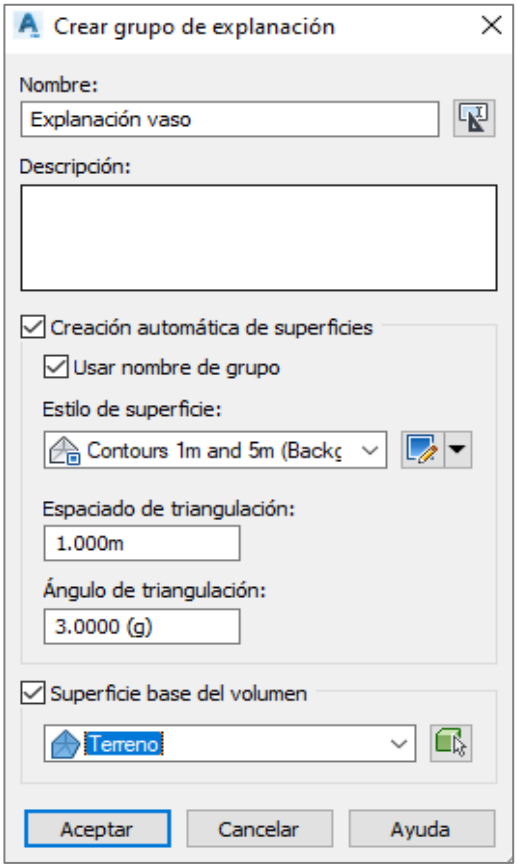


Ilustración 29: Creación del grupo de explanación del vaso

Seguidamente en la 'Herramienta de creación de explanaciones' se introducen los siguientes parámetros:

- Grupo de explanación: *Explanación vaso.*
- Emplazamiento: *Vaso exterior (140x115).*
- Superficie sobre la que se proyecta: *Terreno*.

El software AutoCAD Civil 3D dispone de diferentes opciones para la creación de explanaciones, en este caso la que más se ajusta es *Desmonte-Terraplén de Superficie*, en esta opción se selecciona:

- La línea característica sobre la cual queremos crear la explanación, el contorno exterior.
- El lado sobre el que se proyectará la explanación, el lado exterior.
- La pendiente del talud deseada, 2H:1V.

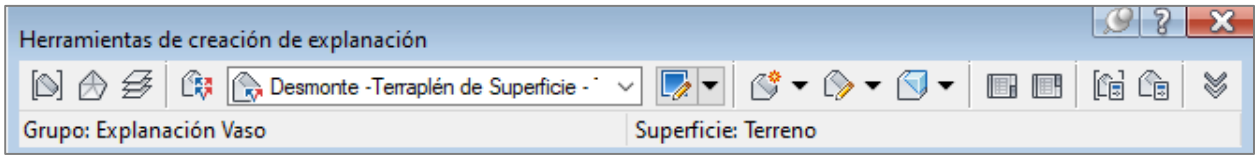


Ilustración 30: Herramienta de creación de explanaciones

De esta forma se crea una nueva superficie *Explanación vaso* que contiene la explanación creada.

En la siguiente imagen se puede observar la nueva superficie, en rojo se marcan las zonas de desmonte y en verde en terraplén, además se ha desactivado la superficie *Terreno* para mejor la visualización.

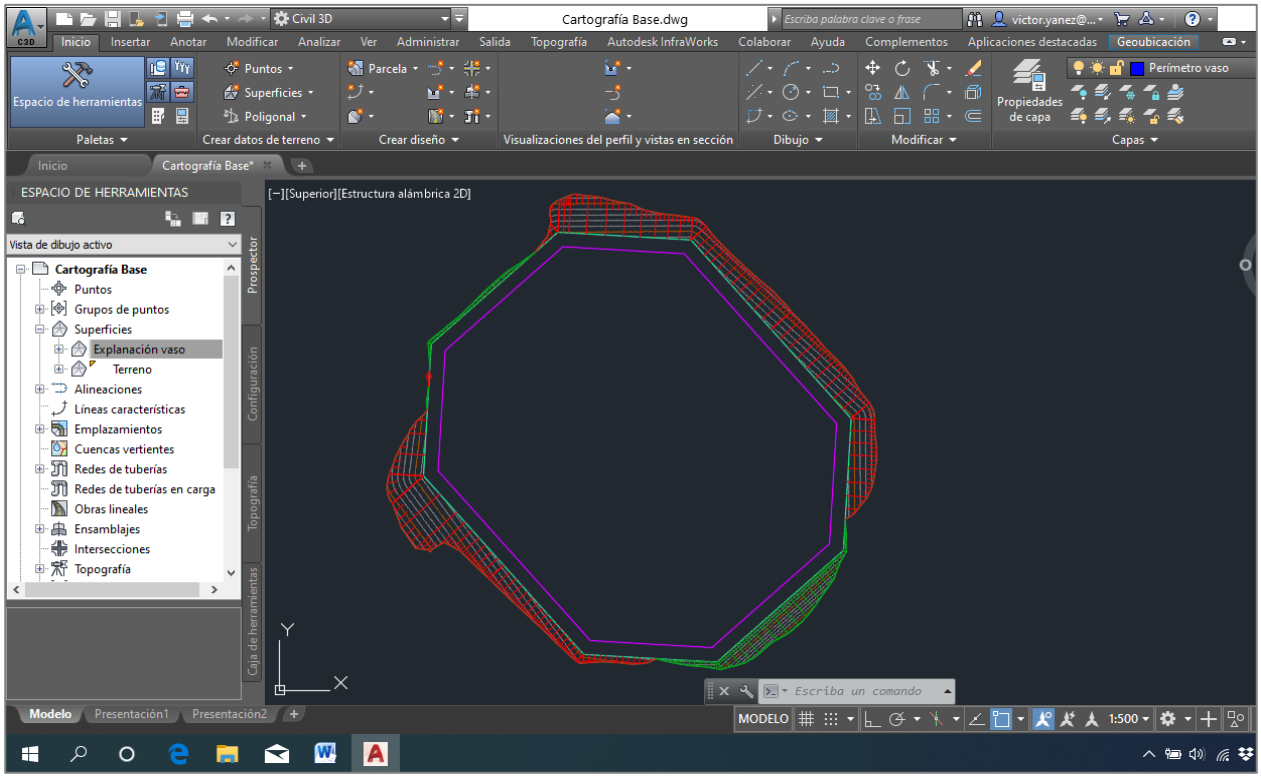


Ilustración 31: Explanación exterior del vaso

Explanación interior

La explanación interior al vaso se crear a partir de la línea característica del contorno interior del camino de coronación introduciendo esta vez una pendiente tanto en desmonte como en terraplén 3H:1V.

En esta ocasión para su modelización no hace falta crear un nuevo grupo de explanación pues servirá el grupo anteriormente creado *Explanación vaso*. De nuevo en en la 'Herramienta de creación de explanaciones' se selecciona como grupo de explanación *Explanación vaso,* y como superficie *Terreno*.

Esta vez la explanación se va a realizar por *Elevación relativa y talud proporcional* puesto que lo que se quiere es dotar de una profundidad determinada a la explanación y no proyectar sobre el terreno. En esta opción se introduce:

- La línea característica sobre la cual queremos crear la explanación, el contorno interior.
- El lado sobre el que se proyectará la explanación, el lado interior.
- La elevación relativa hasta la que se quieren proyectar los taludes, -5m.
- La pendiente del talud deseada, 3H:1V.

Esta explanación se almacena directamente sobre la superficie *Explanación vaso,* la cual ya contenía la explanación exterior anteriormente creada.

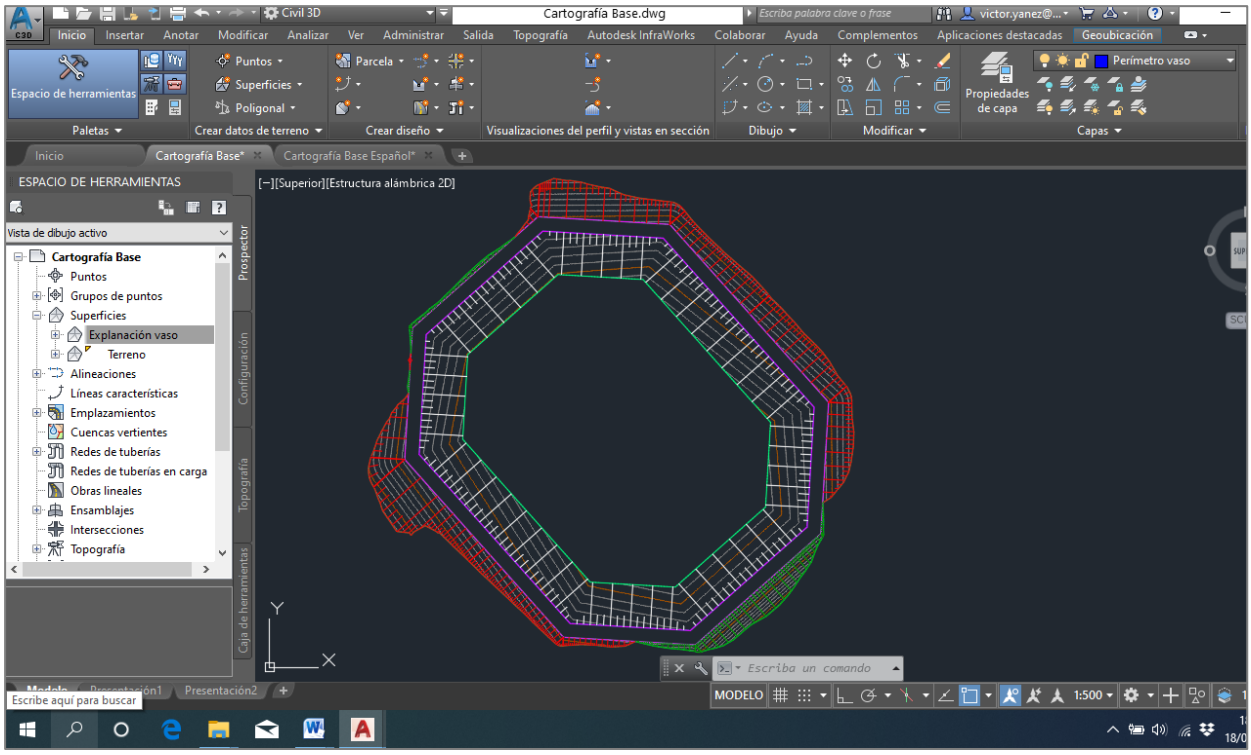


Ilustración 32: Explanación interior del vaso

Explanación del camino de coronación

Para crear la explanación del camino de coronación en primer lugar se selecciona como siempre el grupo de explanación *Explanación vaso*, de esta forma la nueva explanación creada se almacenará directamente sobre la superficie con el mismo nombre.

Posteriormente haciendo uso del comando 'Crear explanación en terraplén' y haciendo click dentro del camino de coronación se crea la nueva explanación.

Con el 'Visor de objetos' y seleccionando la superficie *Explanación vaso* se puede realizar una perspectiva isométrica de la misma:

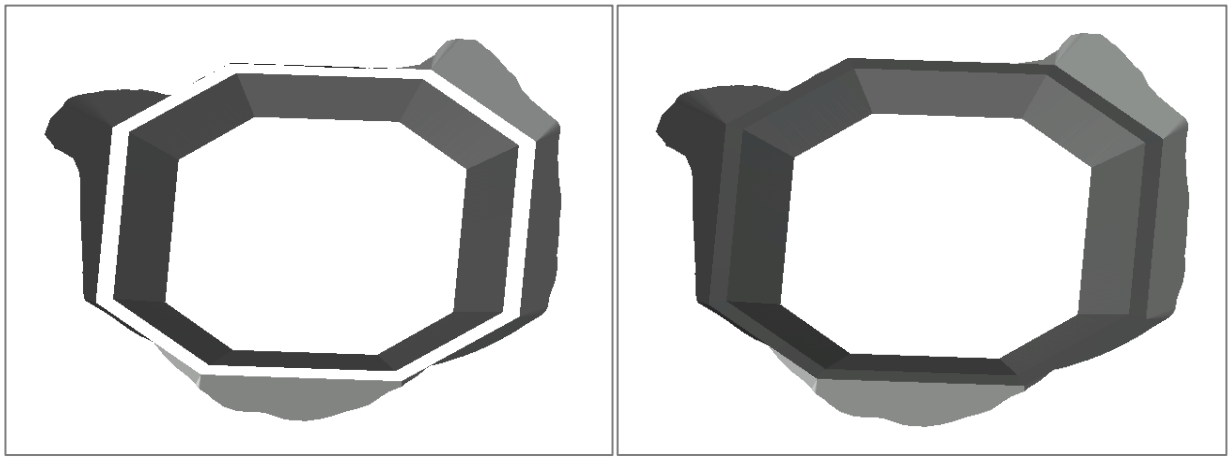


Ilustración 33: Explanación del vaso antes y después de realizar el camino de coronación

Explanación del fondo del vertedero

La creación de la explanación del fondo del vertedero es más compleja que la del camino, pues si se siguiese el mismo procedimiento anterior se conseguiría un fondo plano con pendiente longitudinal pero sin pendiente transversal. Para dotar el fondo del vaso de pendiente transversal hay que crear una línea característica por el eje longitudinal del vertedero e introducirle las cotas correspondientes para crear ambas pendientes. El procedimiento es el siguiente:

- Se crea una línea por el eje longitudinal del vertedero y se convierte en línea característica con el comando 'Crear línea característica a partir de objeto'. Se debe de seleccionar el mismo emplazamiento que en las líneas características de los contornos del camino de coronación, de lo contrario no se podrán crear posteriormente los terraplenes.

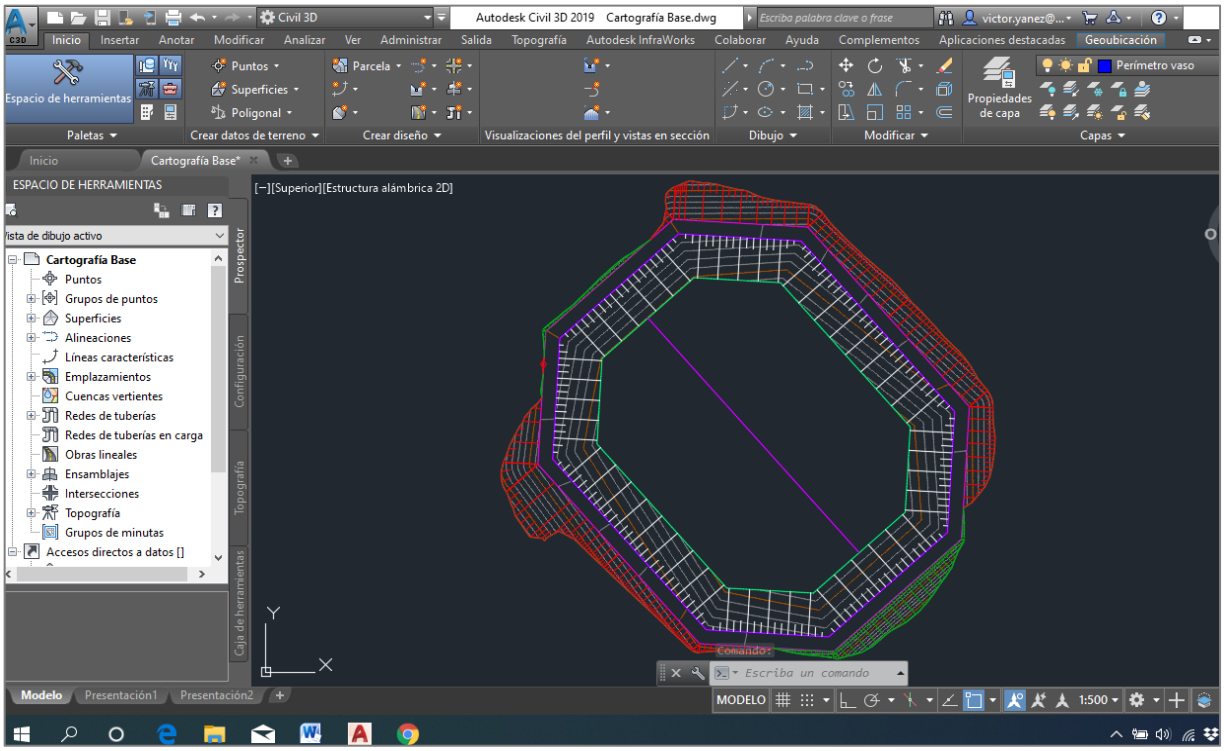


Ilustración 34: Línea característica del fondo del vaso (línea morada)

- Para asignar las elevaciones correspondientes a la línea característica, se consultarán las cotas del contorno del fondo del vertedero en 'Anotar / Añadir etiquetas / Superficie / Elevación de punto' y se selecciona la superficie *Explanación vaso* pues es de la cual nos interesan las cotas.

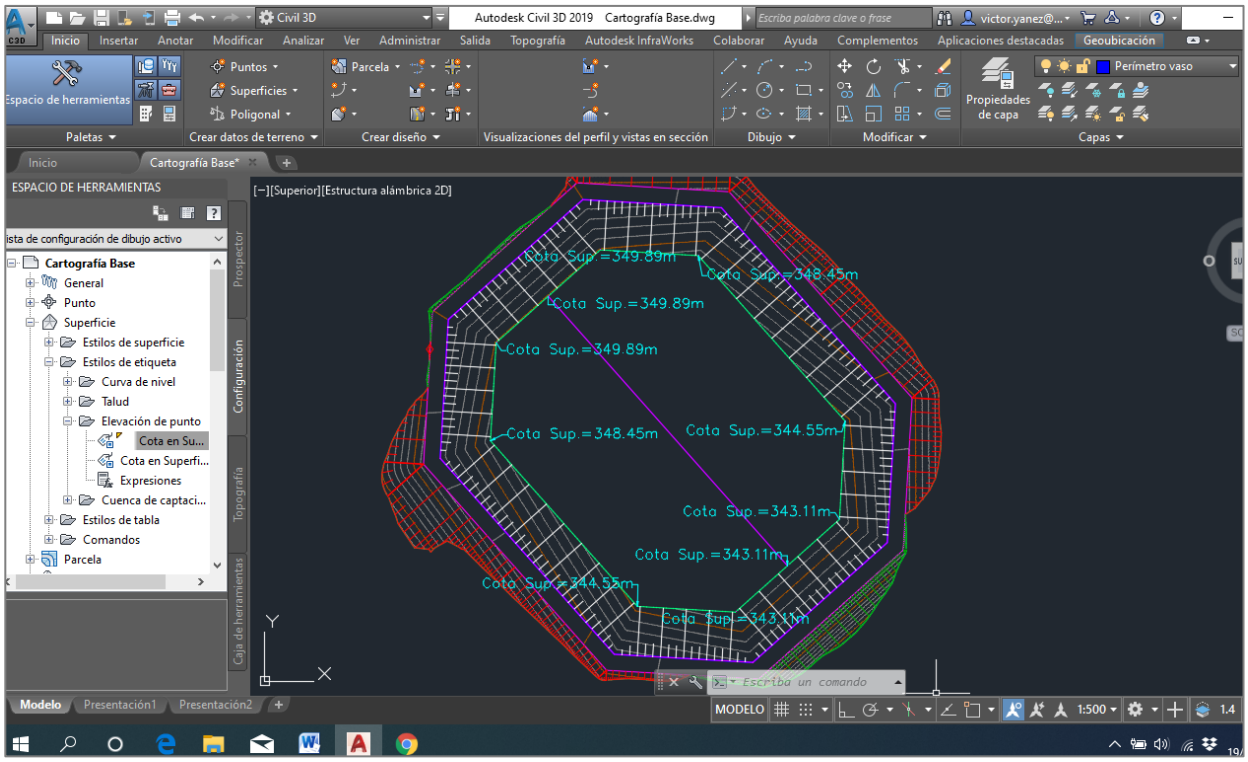


Ilustración 35: Cotas del fondo del vertedero

Apartir de las cotas del fondo del vertedero anteriores, se calculan las cotas que se introducirán finalmente a la línea característica para que el vertedero posea doble pendiente, que son las siguientes:

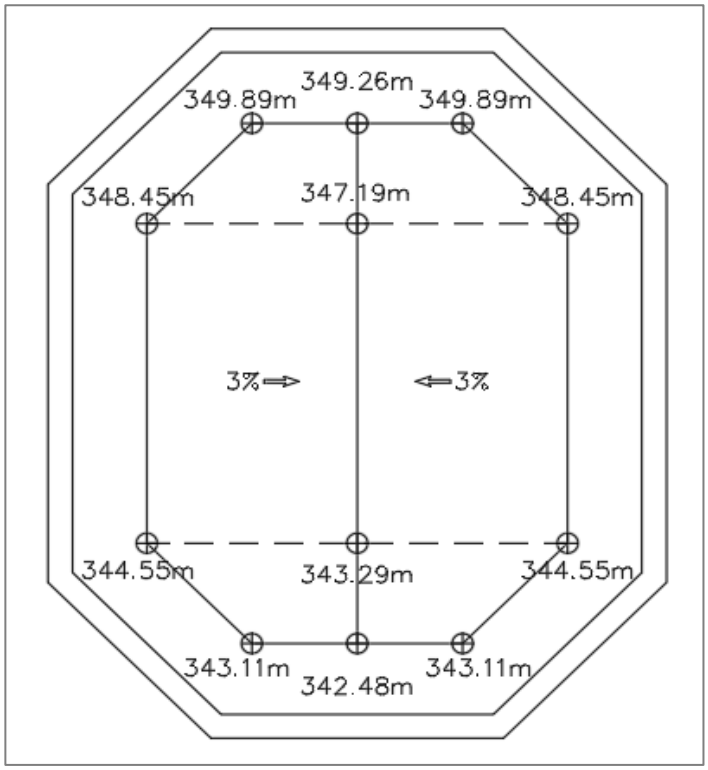


Ilustración 36: Cotas finales línea característica del fondo

Los dos extremos de la línea característica se convierten automáticamente en puntos en los que introducir las elevaciones, sin embargo, los dos puntos interiores se añaden con la opción 'Insertar PI'. Una vez añadidos se introducen manualmente las cotas en el 'Editor de elevaciones'.

Para crear la explanación, se selecciona como grupo de explanación *Explanación vaso* y haciendo uso del comando 'Crear explanación en terraplén' se hace click en el fondo del vaso a ambos lados de la línea característica.

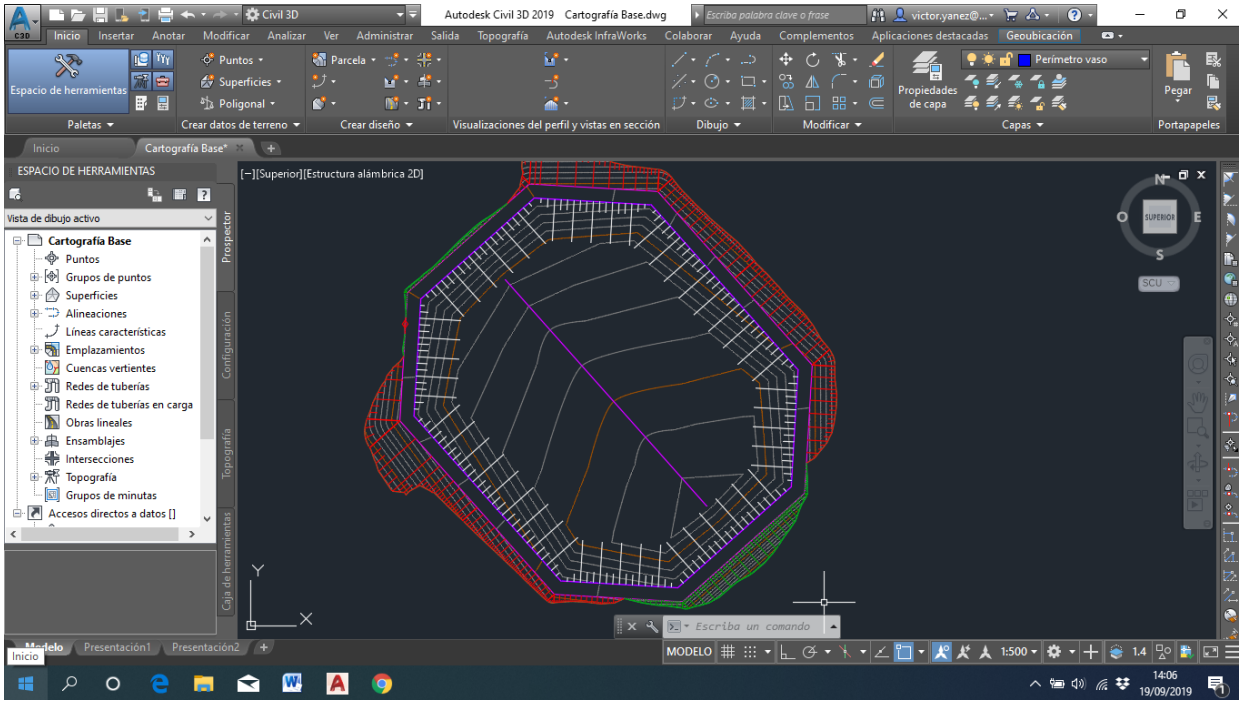


Ilustración 37: Explanación del vaso completa

Finalmente las cuatro explanaciones quedan almacenadas en la superficie *Explanación vaso.*

4.2.4 Edición de la superficie

Una vez finalizada por completo la explanación del vaso se pueden observar pequeñas imperfecciones al crear la superficie en las esquinas del fondo del vertedero. Para una mejor visualización del posible error, se realiza un perfil transversal por la zona en 'Analizar / Perfil rápido' y se selecciona la superficie de la cual queremos realizar el perfil *Explanación vaso*.

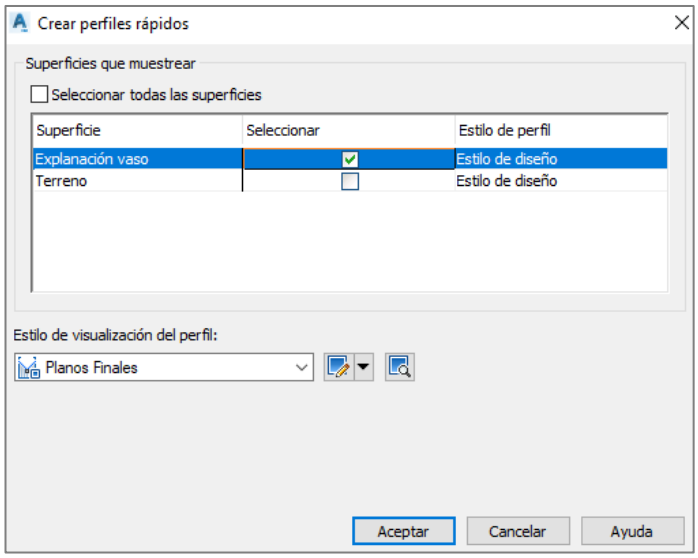


Ilustración 38: Creación de perfil rápido

En ‘Editar estilo de visualización del perfil’ se puede modificar el diseño del perfil además de la escala, en este caso se ha deformado verticalmente la escala (V:250-H:500) para que se puedan observar con mayor nitidez las imperfecciones.

Como se pueden ver en las dos siguientes ilustraciones, se producen ligeros hundimientos en las esquinas del vaso en las cuales se podría producir anegamiento.

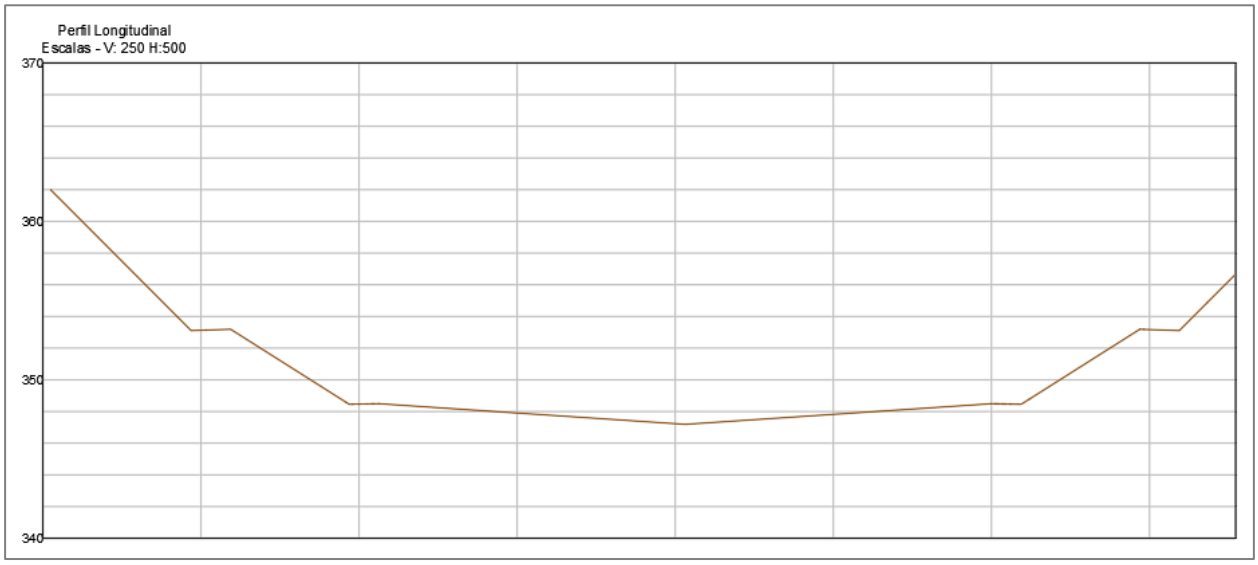


Ilustración 39: Perfil transversal (Escala V:250-H:500)

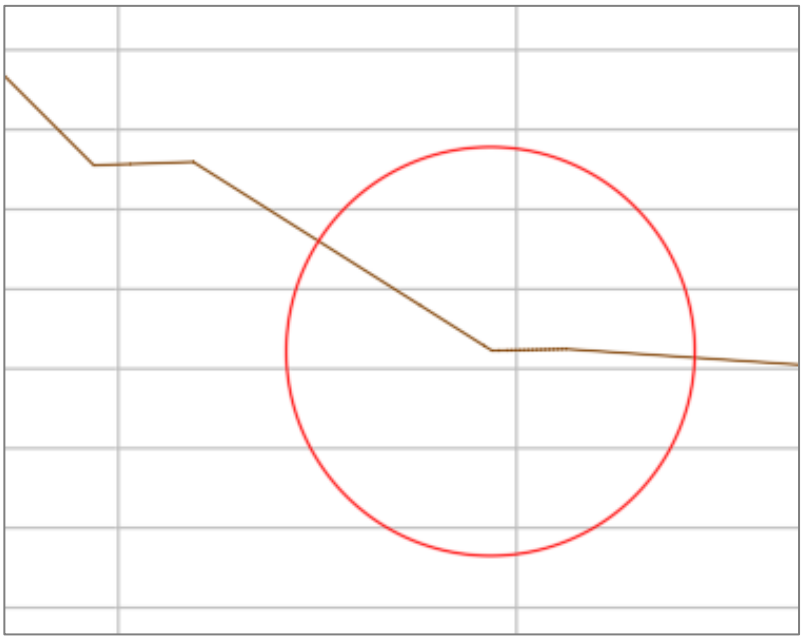


Ilustración 40: Zoom en la esquina del fondo del vaso

El problema se soluciona editando la superficie *Explanación del vaso*, para ello hay que modificar la visualización de la superficie en ‘Editar estilo de superficie’ y seleccionar *Triángulos y Curvas de Nivel para edición de superficies*. Con este tipo de estilo se pueden visualizar los puntos y aristas de la superficie y posteriormente modificarlos.

Una vez cambiado el estilo, se selecciona la superficie y en ‘Editar superficie’ con el comando ‘Intercambiar arista’se corrigen las imperfecciones de las esquinas.

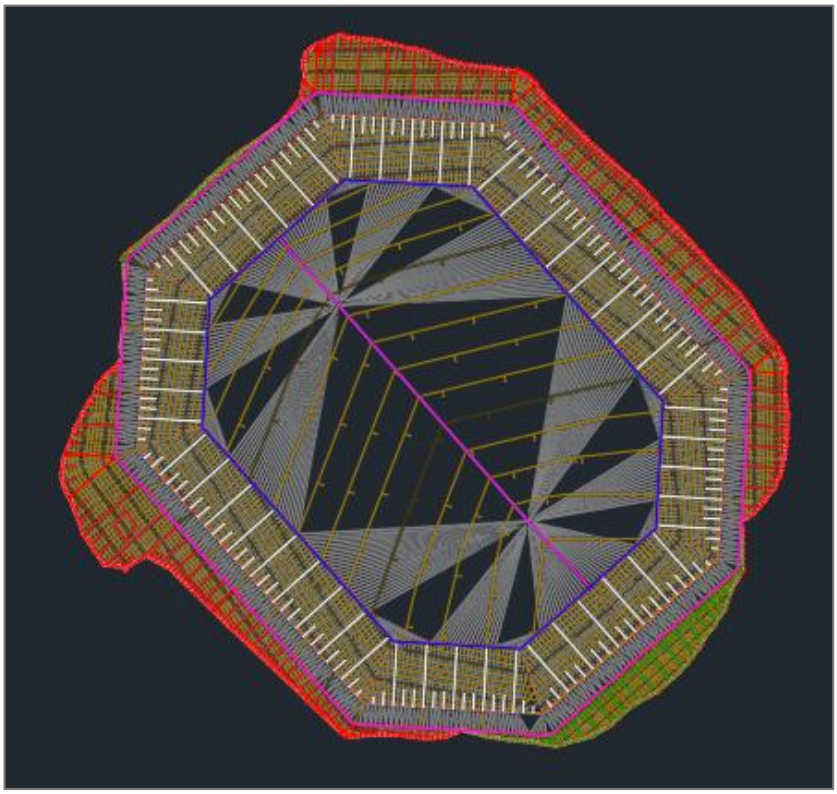


Ilustración 41: Explanación del vaso antes de la edición

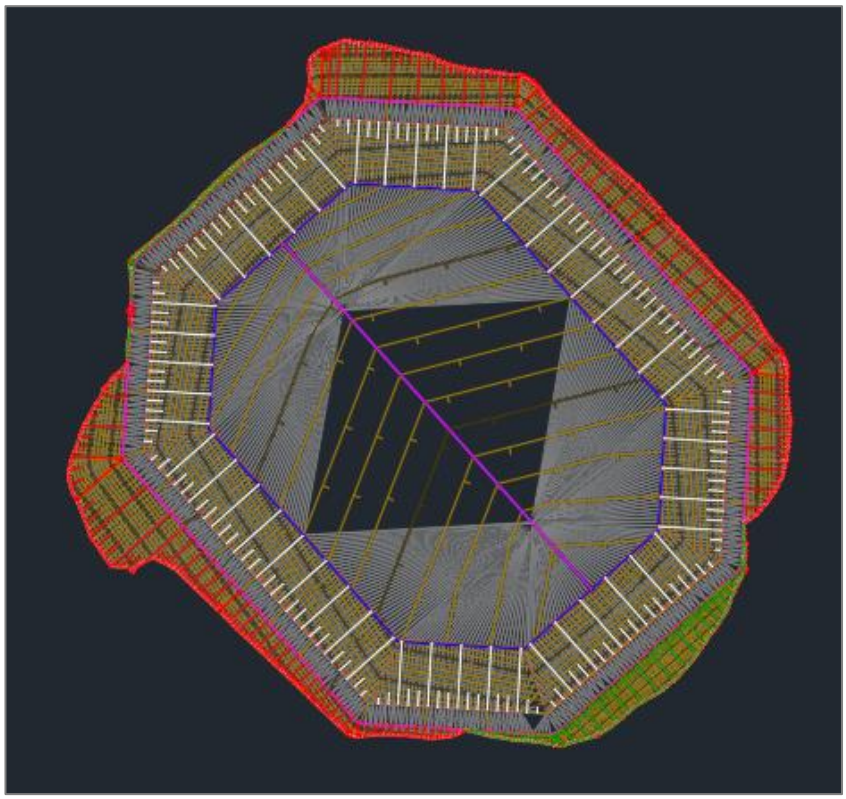


Ilustración 42: Explanación del vaso después de la edición

Una vez terminada la edición de la superficie, se puede comprobar en los *Planos 5.1,5.2 y 5.3: Movimiento de tierras vertedero: Perfiles* la correcta modificación de la superficie.

Una aplicación que posee AutoCAD Civil 3D y que se puede utilizar en este caso para comprobar la correcta ejecución del fondo del vaso y la recogida de lixiviados, es el *Análisis de la gota de agua*. Esta función es capaz de dibujar el recorrido que realizaría una gota de agua en una superficie hasta llegar al punto final como si se tratase de una Cuenca.

Para ello en 'Analizar / Gota de agua' seleccionamos la superficie *Explanación vaso* y hacemos click en los puntos en los que queremos comprobar el recorrido de agua, haciendo hincapié en las esquinas modificadas.

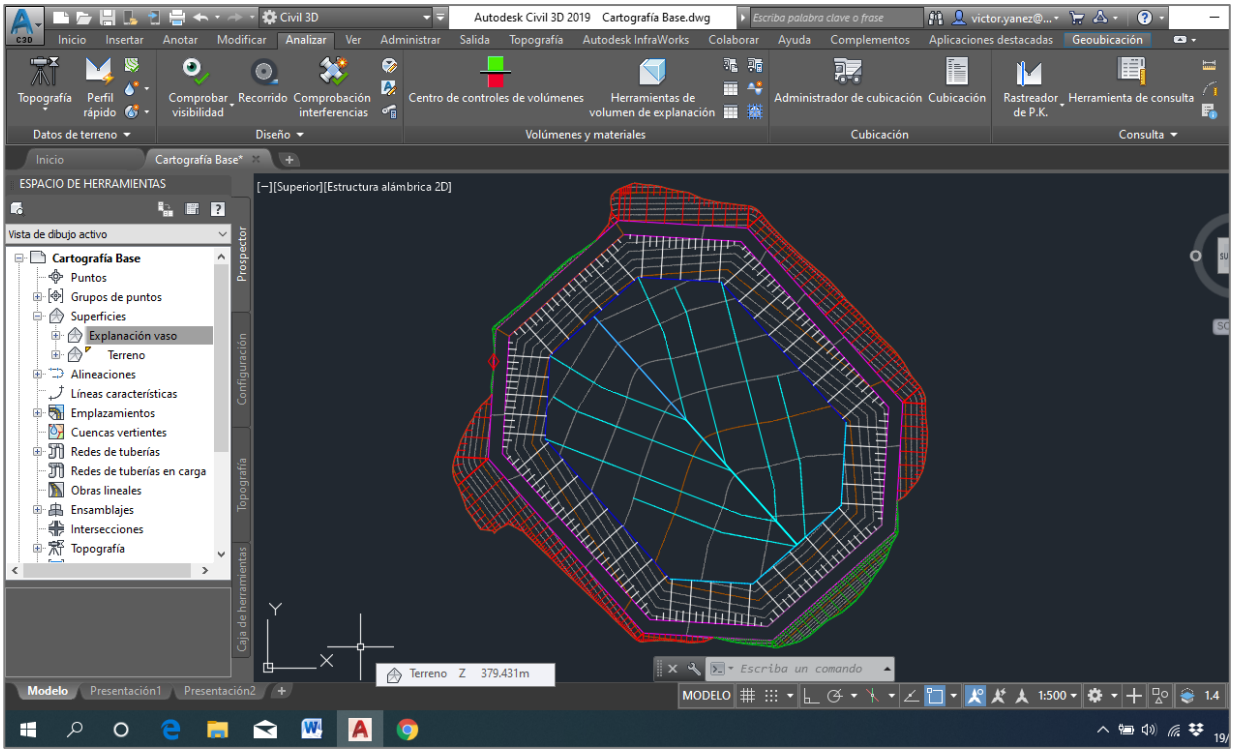


Ilustración 43: Análisis de la gota de agua del fondo del vaso

Como se puede observar en la ilustración anterior, cualquier gota de agua depositada sobre el fondo del vaso del vertedero es recogida y llevada hasta el punto más bajo desde donde se redigirá a las balsas de lixiviados.

4.2.5 Modificación de las cotas

Una vez finalizada la celda de vertido se deberá comprobar si las cotas que se introdujeron inicialmente proporcionan un balance de tierras equilibrado o si por el contrario, necesitan una modificación para compensar el exceso de desmonte o terraplén.

El balance de tierras generado por el vaso se puede calcular en la 'Herramienta de creación de explanaciones / Herramienta de volumen de explanación' y seleccionando el grupo de *Explanación vaso* y la superficie sobre la cual se proyecta *Terreno*. Tal y como se planteó inicialmente la celda los resultados son los siguientes:

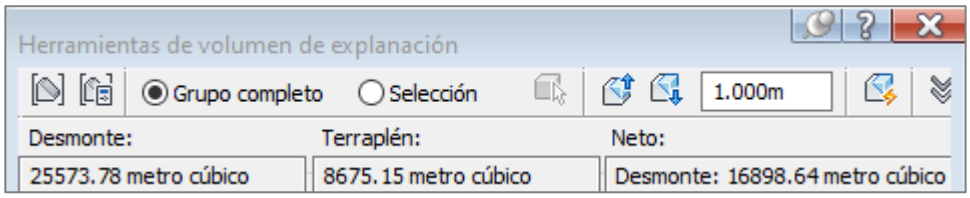


Ilustración 44: Volumen de explanación inicial

Se generan 16.898 m^3 de desmonte neto por lo que se produce un exceso de tierras demasiado grande el cual se deberá reducir. Cabe mencionar que el software AutoCAD Civil 3D posee una función que permite calcular automáticamente la altura óptima a la que se debe de situar la explanación para producir un balance de tierras equilibrado, es decir, de 0 m^3.

Sin embargo, en este caso interesará tener un ligero exceso de tierras para utilizarlo posteriormente en la realización del sellado una vez se ejecute la clausura del vertedero. Para ello, en 'Herramienta de volumen de explanación / Elevar grupo de explanación' se eleva la explanación 0.85m produciendo el siguiente balance de tierras:

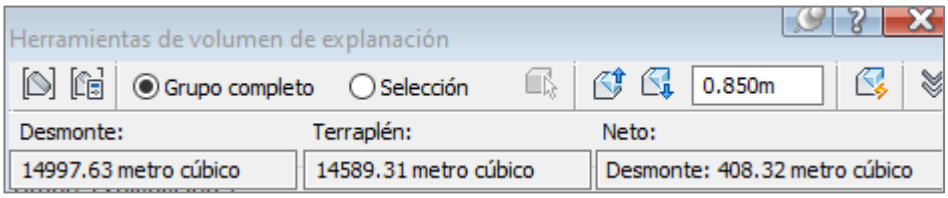


Ilustración 45: Volumen de explanación modificado

4.3 Rampa de acceso al fondo del vertedero

4.3.1 Diseño y edición de cotas

El dibujo en planta de la rampa se realizará de forma que se cumplan los siguientes criterios y restricciones:

- No se recomiendan pendientes superiores al 11% para que los vehículos y la maquinaria accedan sin dificultad.
- El ancho mínimo establecido será de 5 metros.
- No se emplearán curvas excesivamente cerradas en el trazado para facilitar la maniobrabilidad.
- El trazado se diseñará a través del talud interior del vaso para que el volumen ocupado sea el menor posible.

Es importante una vez dibujada la rampa en planta convertir las líneas en polilíneas y unirlas con la función 'EDITPOL', en caso de no hacerlo el programa no permitirá transformarlas en líneas características.

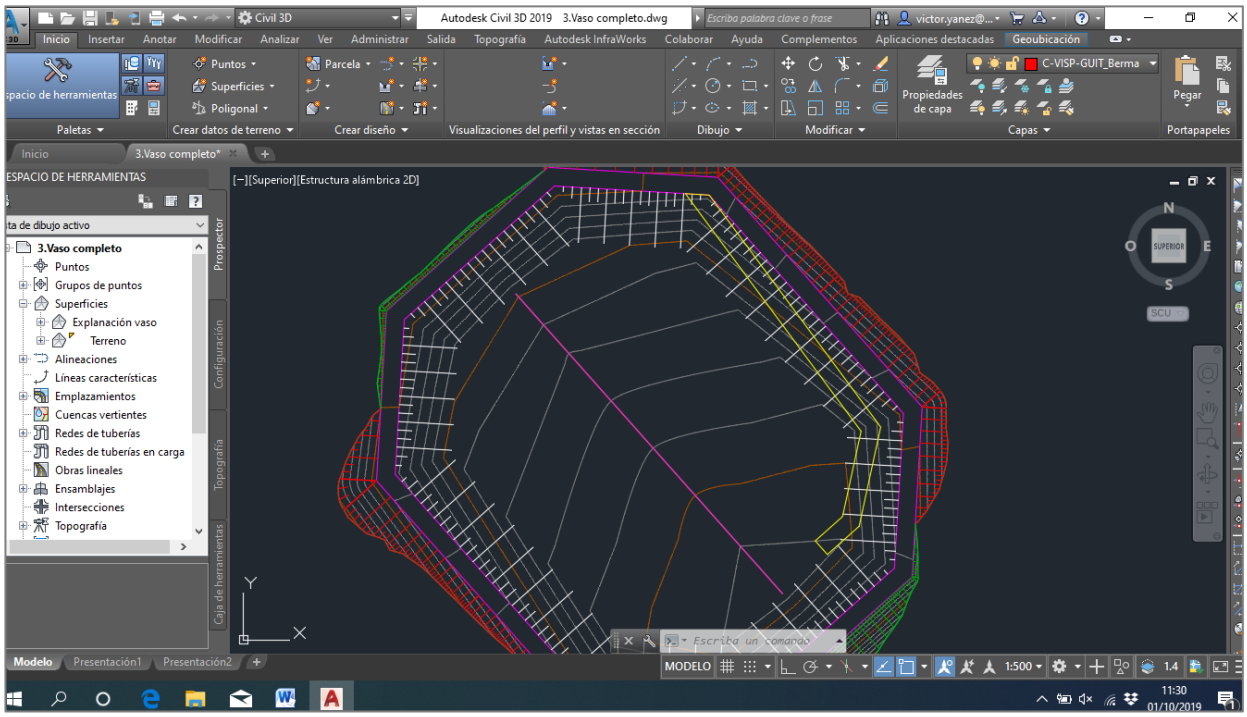


Ilustración 46: Dibujo en planta de la rampa (línea amarilla)

Para asignar las elevaciones y posteriormente crear la explanación hay que convertir la polilínea de la rampa en una línea característica. Para ello en 'Línea característica / Crear línea característica a partir de objeto' se selecciona la rampa y en el cuadro desplegable:

- Se crea un emplazamiento nuevo, *Rampa de acceso al fondo*.
- Se elimina la opción de borrar entidades existentes.
- Se añade la opción de asignar elevaciones.

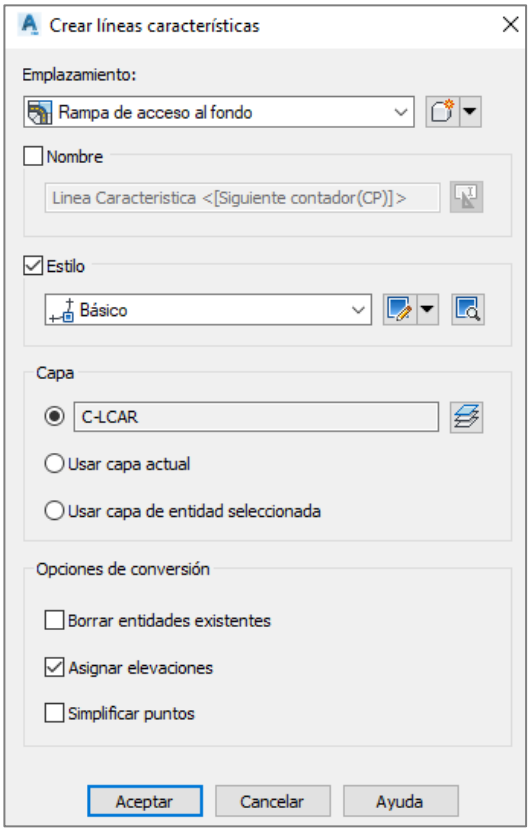


Ilustración 47: Conversión de la rampa a línea característica

Al seleccionar la opción de asignar elevaciones aparecerá un segundo cuadro desplegable, en él se elige la opción de *Asignar elevaciones desde superficie* y se escoge la superficie de *Explanación vaso*, de esta forma a cada vértice de la línea característica de la rampa se le atribuye la altura correspondiente a la superficie *Explanación del vaso* sobre la que se proyecta verticalmente.

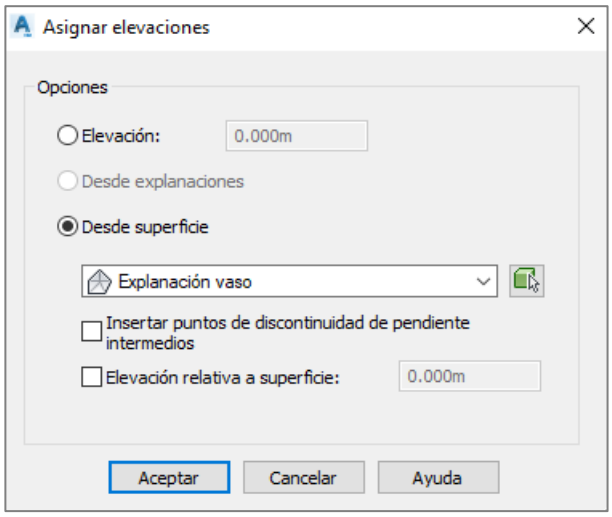


Ilustración 48: Asignación de elevaciones a la rampa

Una vez realizado el paso anterior, hay que modificar las cotas de los vértices interiores y asignarles las cotas de los vértices exteriores para eliminar la inclinación transversal de la rampa:

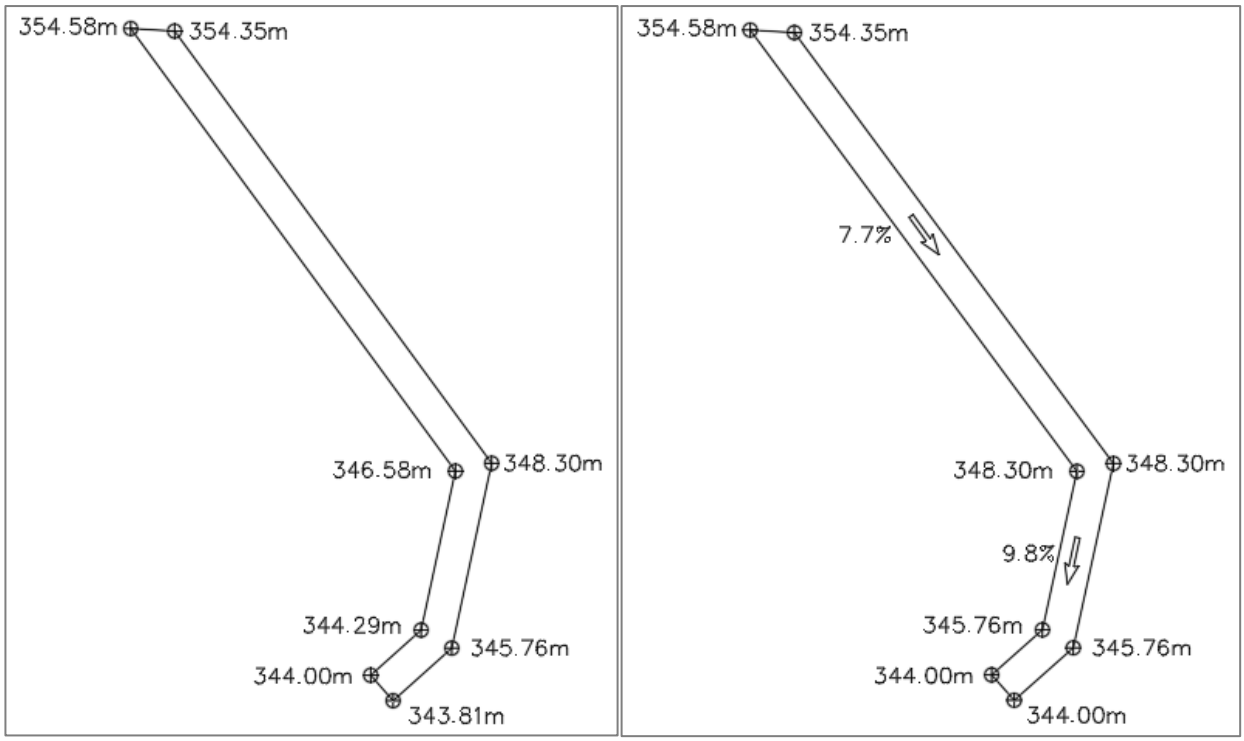
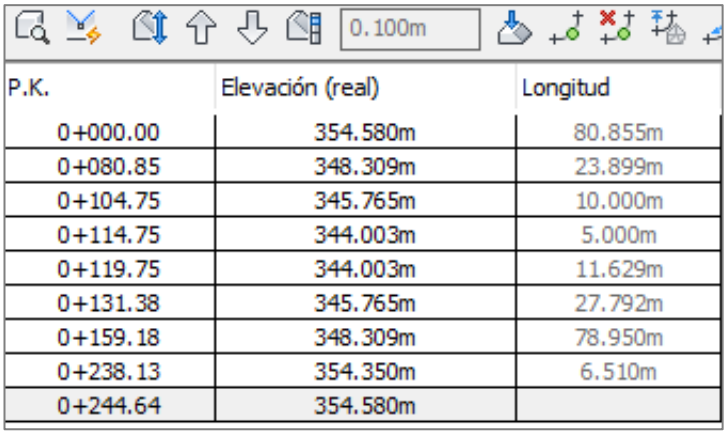


Ilustración 49: Elevaciones de la rampa de acceso antes y después

Para ello se modifican las alturas de la línea carcaterística de la rampa en el 'Editor de elevaciones':



P.K.	Elevación (real)	Longitud
0+000.00	354.580m	80.855m
0+080.85	348.309m	23.899m
0+104.75	345.765m	10.000m
0+114.75	344.003m	5.000m
0+119.75	344.003m	11.629m
0+131.38	345.765m	27.792m
0+159.18	348.309m	78.950m
0+238.13	354.350m	6.510m
0+244.64	354.580m	

Ilustración 50: Editor de elevaciones de la rampa de acceso

4.3.2 Creación de la superficie

En primer lugar se crea un nuevo grupo de explanación con el nombre *Rampa interior* y se selecciona la creación automática de superficies. Además se introduce como superficie base de volumen la superficie *Explanación vaso*, esto significa que los taludes se proyectarán desde la línea característica hasta esta superficie con la pendiente indicada.

Seguidamente en la 'Herramienta de creación de explanaciones', se selecciona como grupo de explanación *Rampa interior* , como emplazamiento *Rampa de acceso al fondo* y como superficie sobre la que se proyecta nuevamente *Explanación vaso*. En este caso la explanación se realiza por *Desmonte-Terraplén de Superficie* ya que lo que se pretende es proyectar los taludes sobre la superficie. En esta opción se introduce:

- La línea característica sobre la cual se crea la explanación, la rampa de acceso.
- El tramo sobre el cual se crea la explanación, la esquina inferior izquierda.
- El lado de la explanación, lado exterior de la rampa.
- El talud de la explanación, 6H:1V.

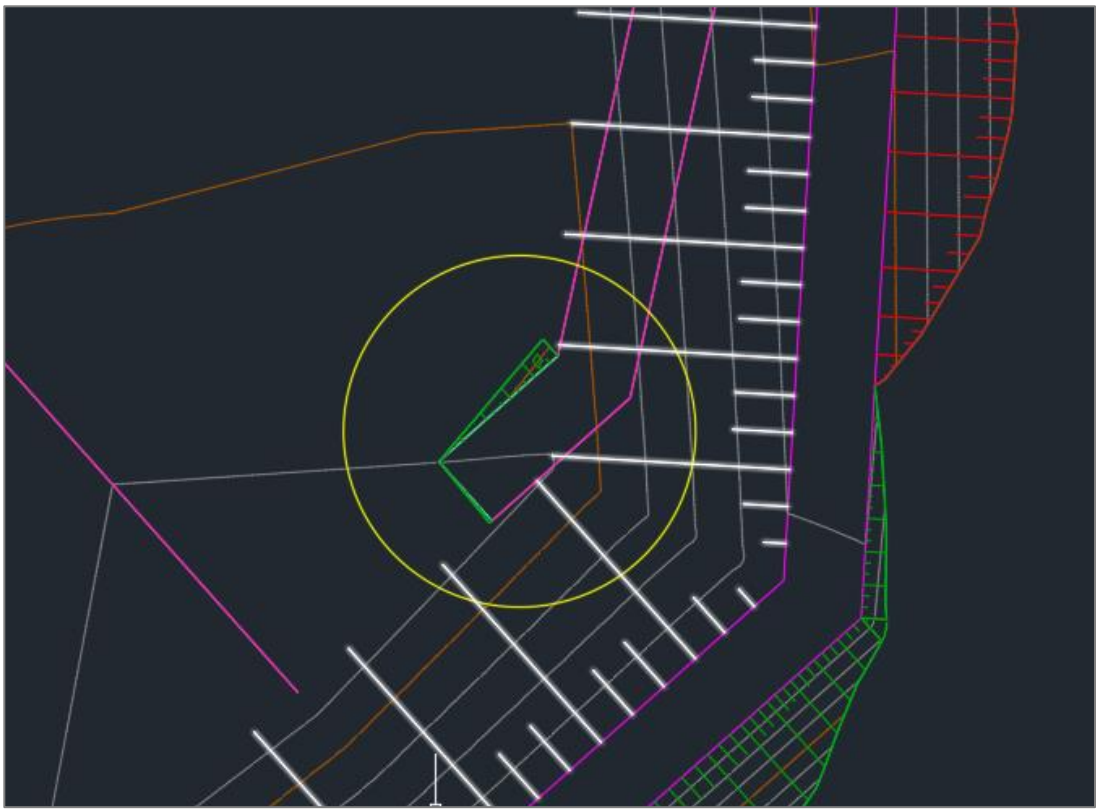


Ilustración 51: Explanación de la rampa de acceso

Para finalizar la explanación del camino de acceso al fondo del vertedero hay que crear los terraplenes de la parte superior y lateral izquierda de la rampa haciendo uso del comando 'Crear explanación en terraplén'.

El terraplén superior se crear con el comando anterior y haciendo click dentro de la rampa, sin embargo, para crear el terraplén lateral hay que crear una nueva línea carcaterística para poder obtener un contorno cerrado. Esta nueva línea característica tendrá el mismo emplazamiento que la rampa y se le asignarán las elevaciones de la superficie *Explanación vaso*.

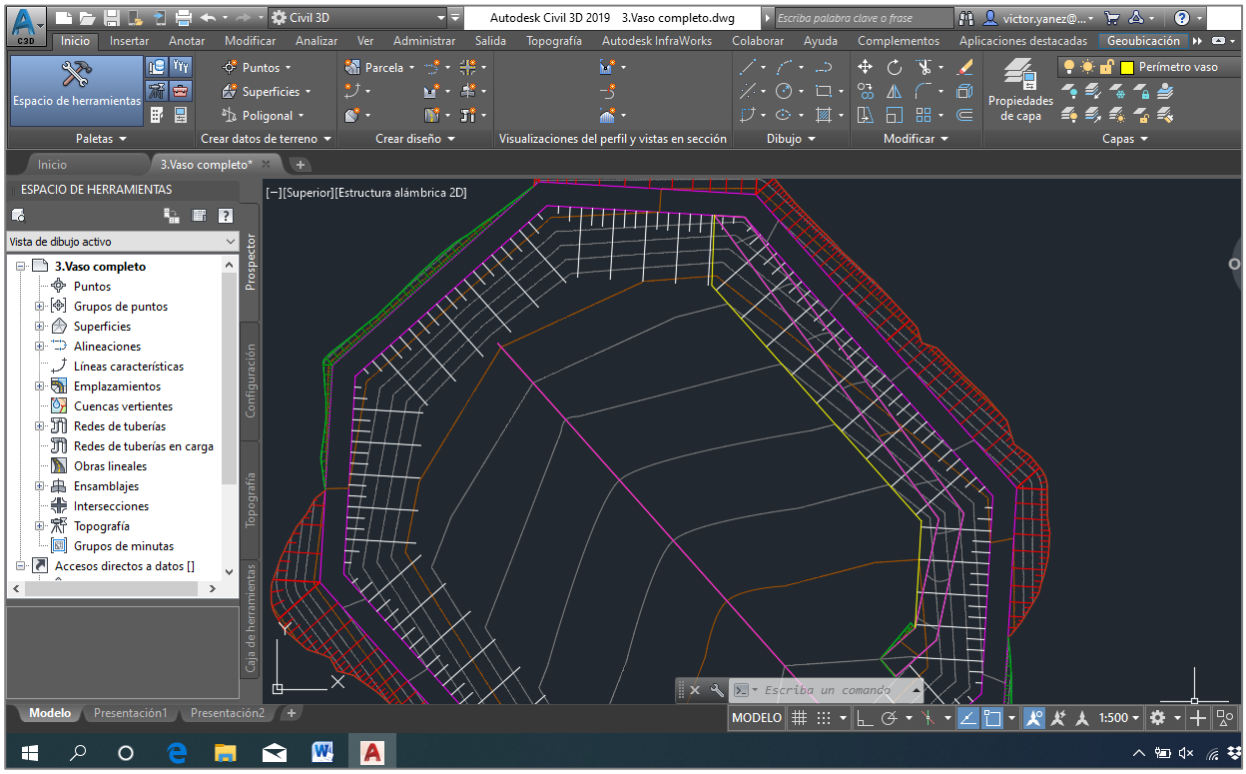


Ilustración 52: Línea característica terraplén lateral (línea amarilla)

Finalmente con el 'Visor de objetos' y seleccionando ambas superficies *Explanación vaso* y *Rampa interior* se pueden ver la disposición de ambas superficies solapadas:

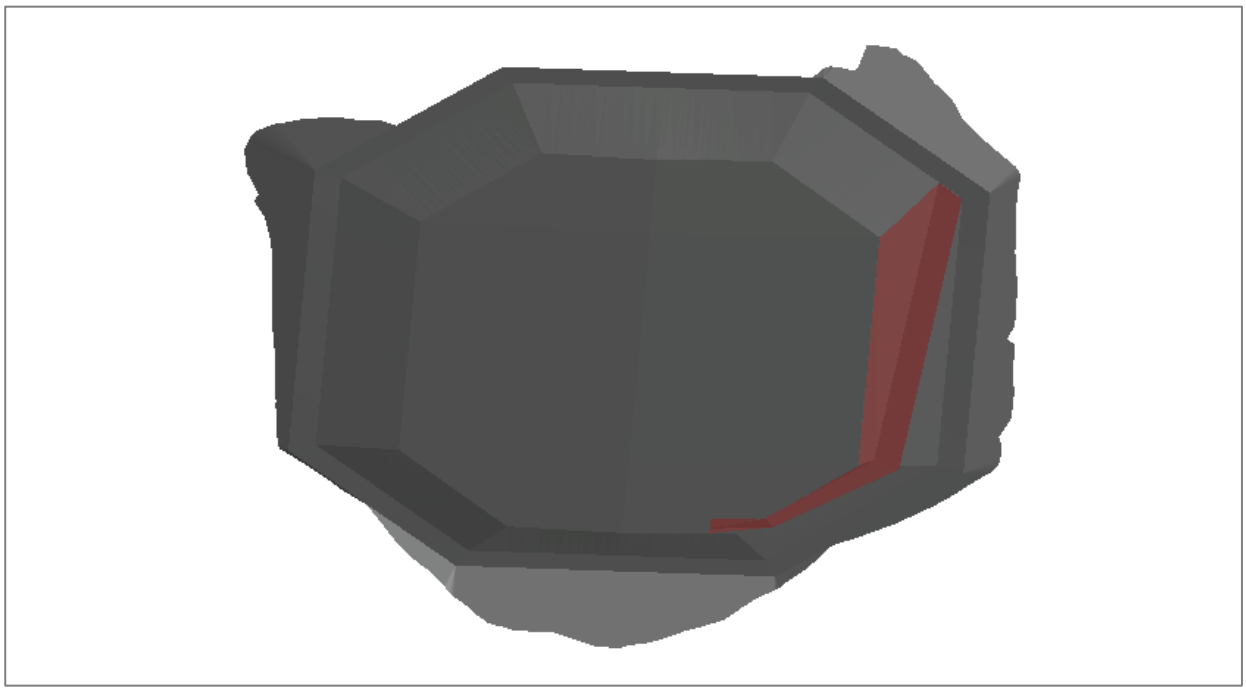


Ilustración 53: Visionado 3D de la Explanación del vaso y la rampa interior

El balance de tierras generado por la rampa se puede calcular en la 'Herramienta de volumen de explanación':

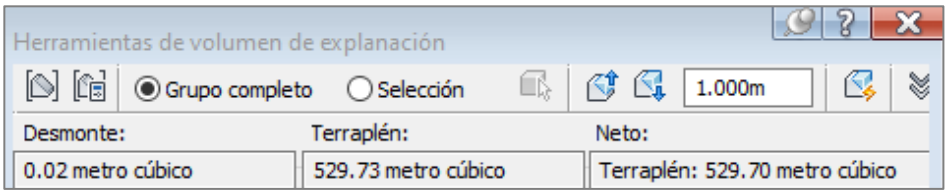


Ilustración 54: Movimiento de tierras total de la rampa

4.3.3 Unión y edición de superficies

Llegados a este punto se deben unir las superficies *Terreno*, *Explanación vaso* y *Rampa interior* para obtener una única superficie. Para ello se crea una nueva Superficie TIN con el nombre *Vaso completo* y se selecciona el estilo habitual de Curvas de Nivel cada 5 metros y Curvas de Nivel maestras cada 1 metro.

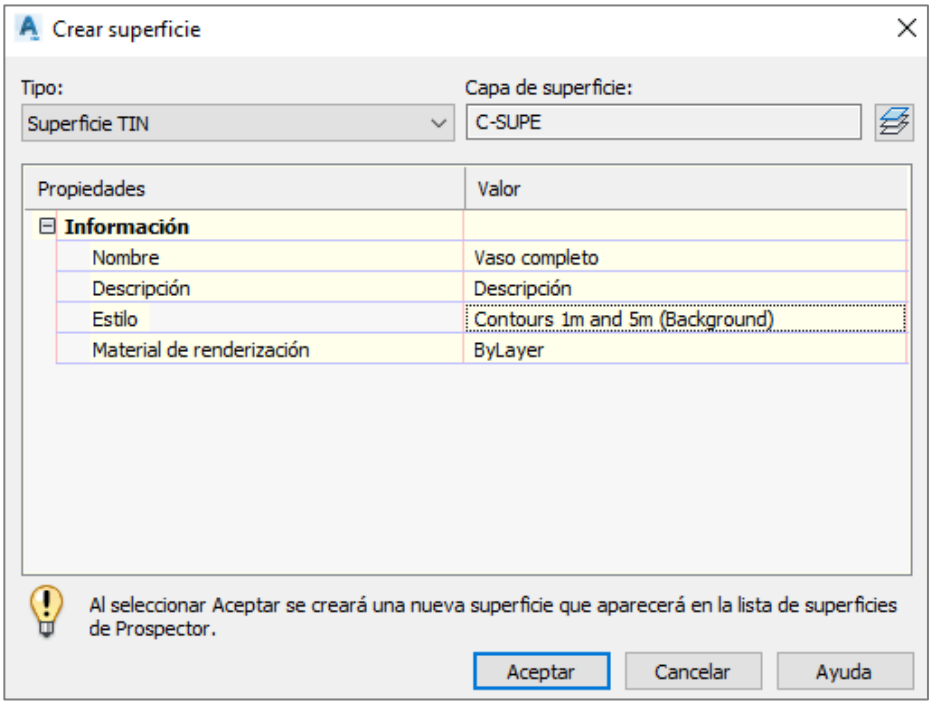


Ilustración 55: Creación de la superficie Explanación con rampa

Una vez creada, en 'Definición / Ediciones / Pegar superficie' se unen las tres superficies una por una, es importante el orden en el que se pegan pues la primera actuará como base y el resto se irán solapando. El orden correcto es el siguiente: Primero *Terreno*, segundo *Explanación vaso* y tercero *Rampa interior*.

El resultado presenta algunos errores e imperfecciones debido a la unión realizada en la parte inferior de la rampa, tal y como se puede observar en las siguientes ilustraciones:

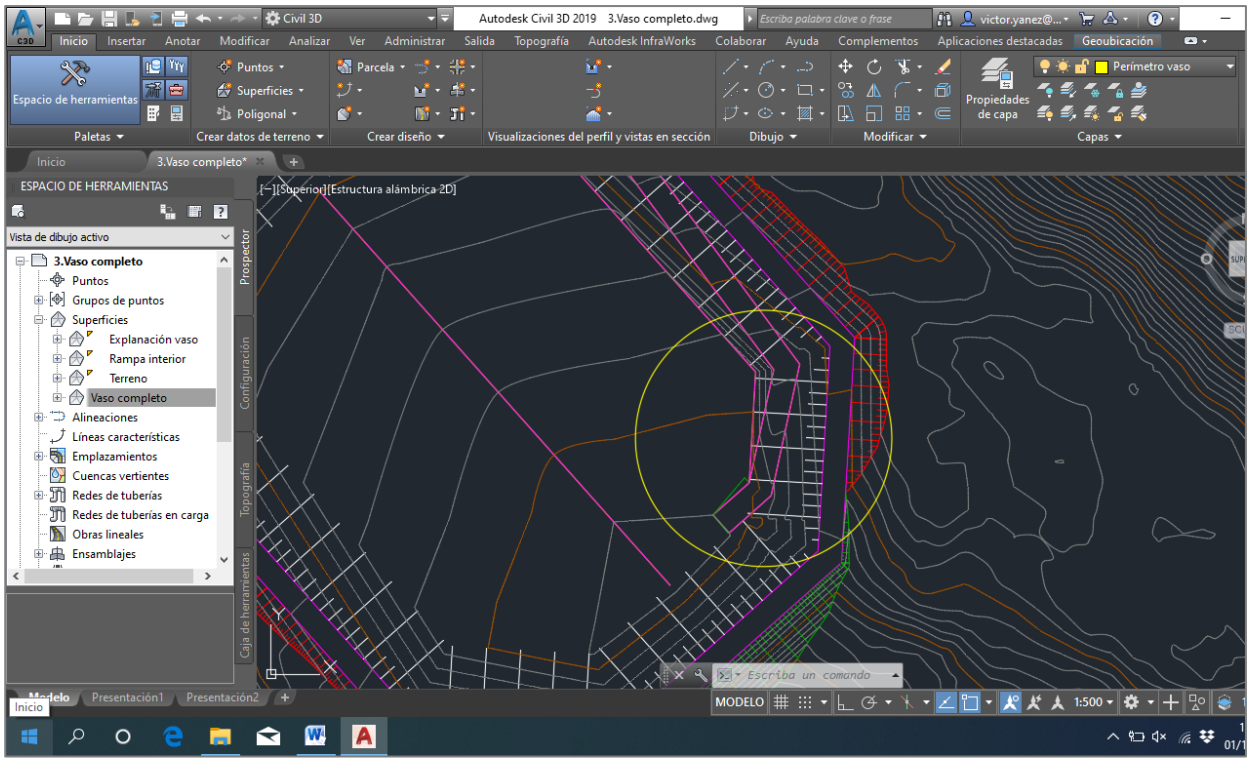


Ilustración 56: Imperfecciones en las curvas de nivel tras la unión

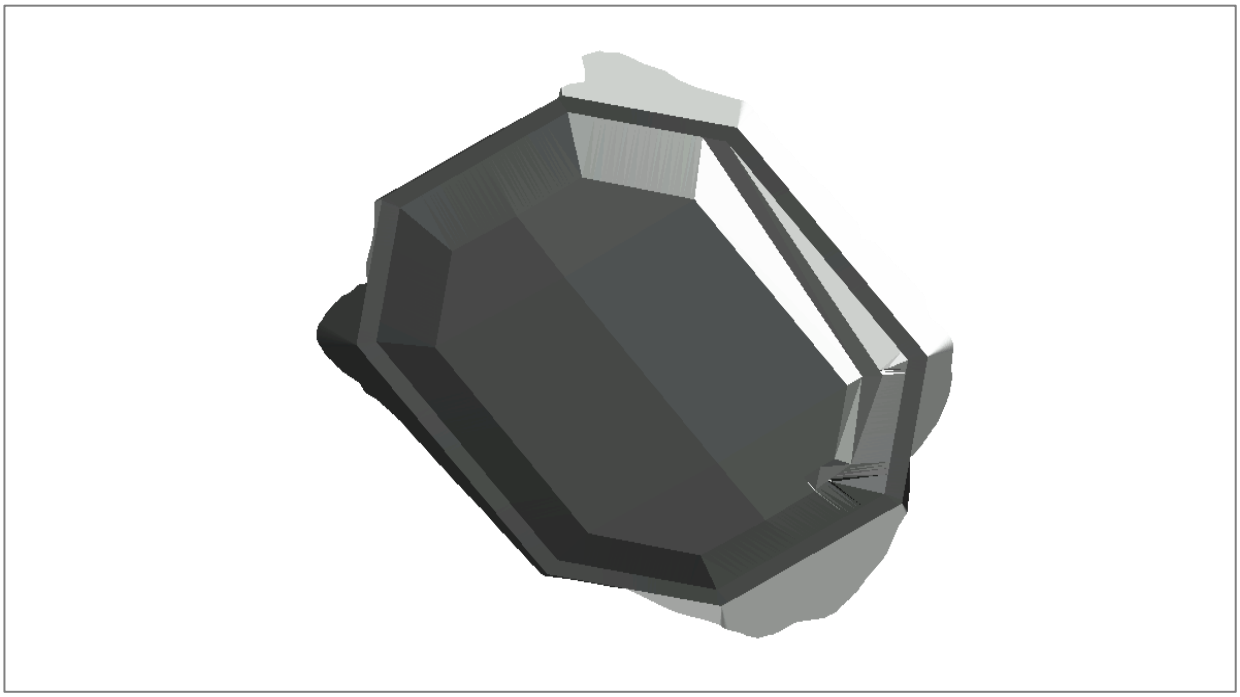


Ilustración 57: Vista en 3D de las imperfecciones

Los errores se solventan editando la nueva superficie creada, para poder modificar una superficie lo primero que se debe hacer es cambiar la visualización de la superficie en 'Editar estilo de superficie' y seleccionar *Triángulos y Curvas de Nivel para edición de superficies*. Con este tipo de estilo se pueden visualizar los puntos y aristas de la superficie y posteriormente modificarlos.

Una vez cambiado el estilo, se selecciona la superficie y en 'Editar superficie' se emplearán los siguientes comandos para editar líneas y puntos:

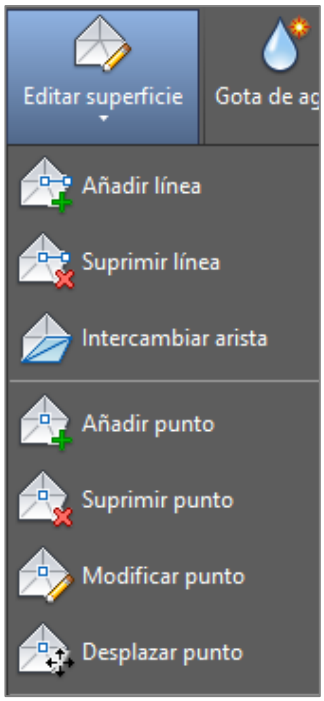


Ilustración 58: Comandos edición de superficies

El resultado tras la edición de la superficie se muestra en la siguiente imagen, en la que se pueden observar las curvas de nivel ya sin defectos y más suavizadas:

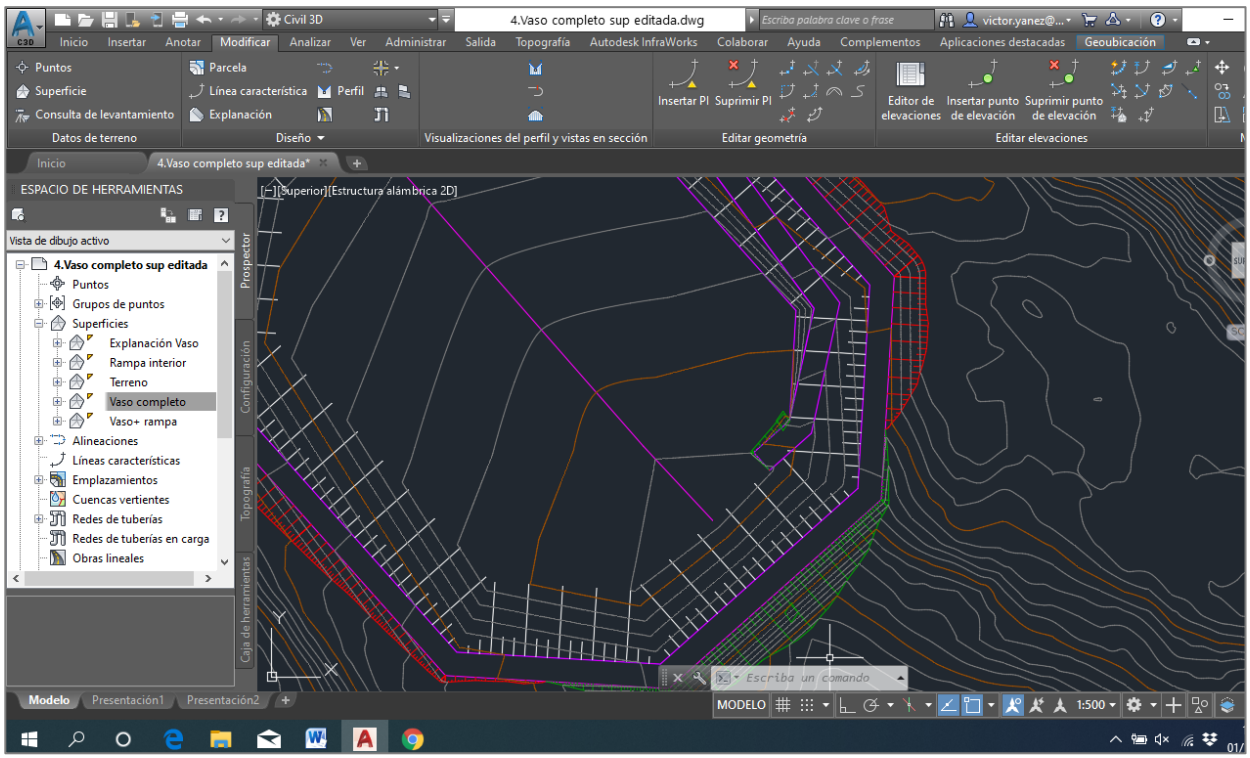


Ilustración 59: Superficie Vaso completo editada

4.4 Balsas de decantación

4.4.1 Diseño en planta e implantación de cotas

El primer paso consiste en la realización del dibujo en planta de las balsas de decantación con las dimensiones calculadas anteriormente y que se muestran en las *Ilustraciones 14 y 15* del punto 3.3.1.

Las balsas de decantación estarán formadas por dos balsas de lixiviados y una de pluviales contenidas en una plataforma llana. Las distancias de las balsas con el contorno de la plataforma y entre ellas serán de 5 y 6m respectivamente para que puedan acceder los vehículos de limpieza cuando se requiera.

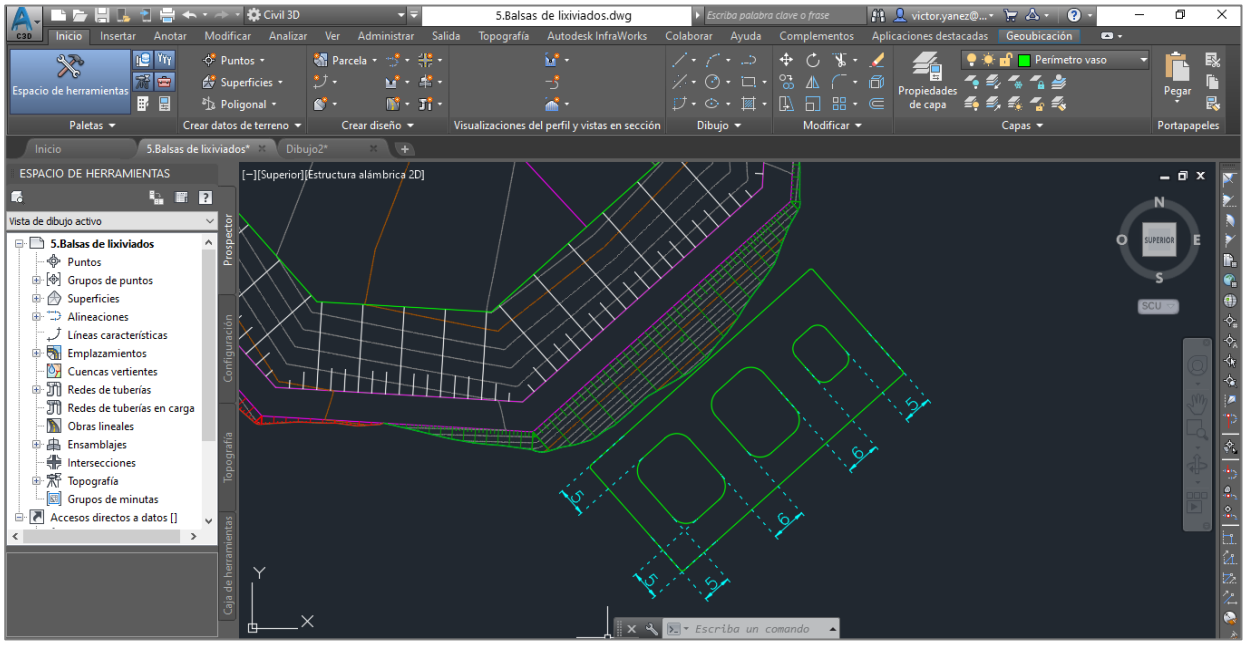


Ilustración 60: Dibujo en planta de las balsas de decantación

Para establecer la cota a la que se proyecta la plataforma con las balsas de decantación se realizan los siguientes pasos:

- Se mide la elevación en el punto de menor altura de la celda de vertido en el cual se implantará el punto de conexión entre la celda y las balsas (343,33 m).
- Se mide la distancia desde ese punto a las balsas de decantación (30,80 m).
- Se impone una pendiente del 3% en esta conexión para la correcta recogida y transporte de los lixiviados.

De esta forma se puede calcular la cota de la siguiente forma:

$$\text{Pendiente} = 3\% = \frac{(343{,}33\text{m} - \text{x})}{30{,}80\text{m}} \times 100$$

$$\text{x} = 342{,}40 \text{ m}$$

Para asignar las elevaciones hay que convertir los contornos de las balsas y la explanación (previamente convertidos a polilíneas con el comando 'EDITPOL') en líneas características. Para ello en 'Línea característica / Crear línea característica a partir de objeto' se seleccionan los contornos y en el cuadro desplegable:

- Se crea un emplazamiento con el nombre de *Lixiviados.*
- Se elimina la opción de borrar entidades existentes.
- Se selecciona la opción de asignar elevaciones, ya que se asignará a todo el conjunto la cota 342,40m calculada anteriormente.

4.4.2 Creación de la superficie

Antes de crear la superficie se edita la elevación de los contornos de las balsas para dotarlas de una pendiente longitudinal del 2%. De esta forma al crear la explanación, dándole la profundidad requerida a las balsas y creando el fondo, se consigue que éste tenga la inclinación del 2%. Posteriormente se edita el contorno superior de nuevo para dejarlo a la cota 342,40m como estaba inicialmente.

Las cotas que se modificarán son las siguientes:

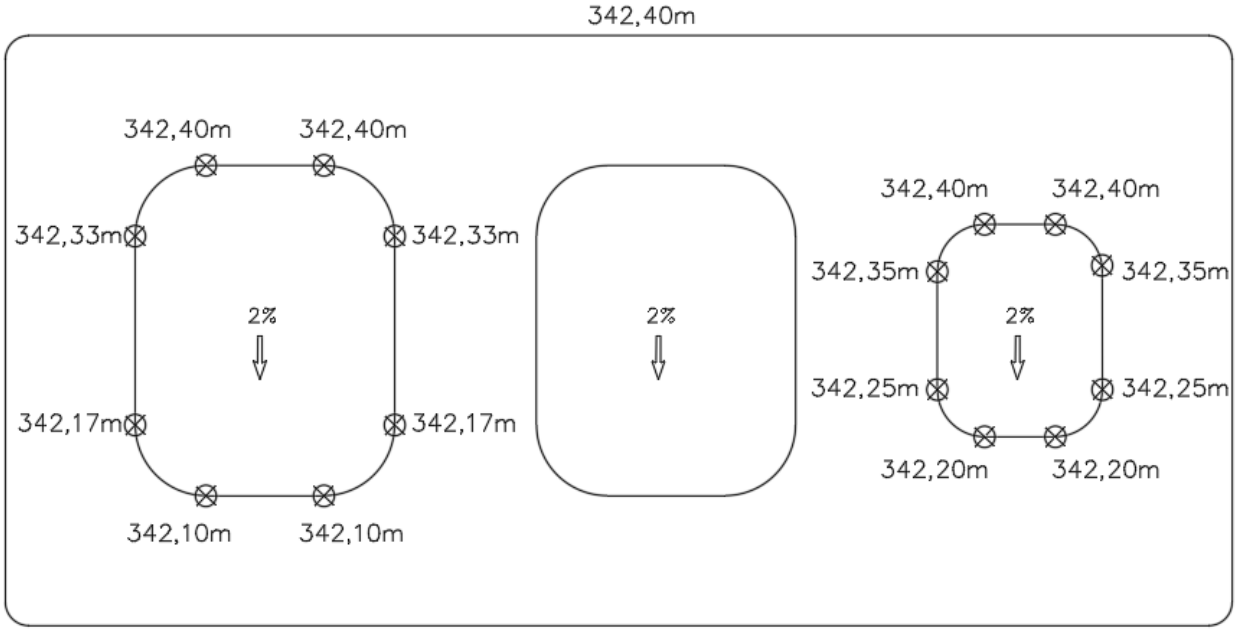


Ilustración 61: Cotas modificadas balsas de decantación

Para implantar estas cotas, se modifican las elevaciones de las líneas carcaterísticas de las balsas en el 'Editor de elevaciones':

0.400m Relativa a superficie: <ninguno>

P.K.	Elevación (real)	Longitud	Pendiente hacia atrás	Pendiente hacia delante
0+000.00	342.400m	5.000m		0.00%
0+005.00	342.400m	4.712m	0.00%	-1.49%
0+009.71	342.330m	8.000m	1.49%	-2.00%
0+017.71	342.170m	4.712m	2.00%	-1.49%
0+022.42	342.100m	5.000m	1.49%	0.00%
0+027.42	342.100m	4.712m	0.00%	1.49%
0+032.14	342.170m	8.000m	-1.49%	2.00%
0+040.14	342.330m	4.712m	-2.00%	1.49%
0+044.85	342.400m		-1.49%	

Ilustración 62: Ejemplo editor de elevaciones balsas

Una vez terminada la edición de cotas se procede a la creación de la superficie, en primer lugar se crea un nuevo grupo de explanación con el nombre *Balsas* y se selecciona la creación automática de superficies, de esta forma se genera automáticamente una nueva superficie con la explanación creada y con el mismo nombre de la explanación, es decir, *Balsas*.

Además se selecciona como superficie base de volumen la superficie *Vaso completo*, esto significa que los taludes se proyectarán desde las líneas características hasta esta superficie con la pendiente indicada. Se recuerda que la superficie *Vaso completo* contiene las superficie *Explanación vaso*, *Rampa interior* y *Terreno*.

Seguidamente en la 'Herramienta de creación de explanaciones' se introduce:

- Grupo de explanación: *Balsas.*
- Emplazamiento: *Lixiviados.*
- Superficie sobre la que se proyecta: *Vaso completo.*

Se van a realizar tres explanaciones, la explanación para crear las balsas de decantación, la explanación de la plataforma y la creación de los terraplenes del fondo de las balsas y de la plataforma.

La primera explanación será la formada por las tres balsas de decantación, se realiza por *Elevación relativa y talud proporcional* puesto que lo que se quiere es dotar de una profundidad a la explanación y no proyectar sobre el terreno. En esta opción se selecciona:

- La línea característica sobre la cual queremos crear la explanación, el contorno de las balsas.
- El lado de la explanación, el interior.
- La elevación relativa, -2m en las balsas de lixiviados y -1.5m en la de pluviales.
- La pendiente del talud deseada 3H:2V.

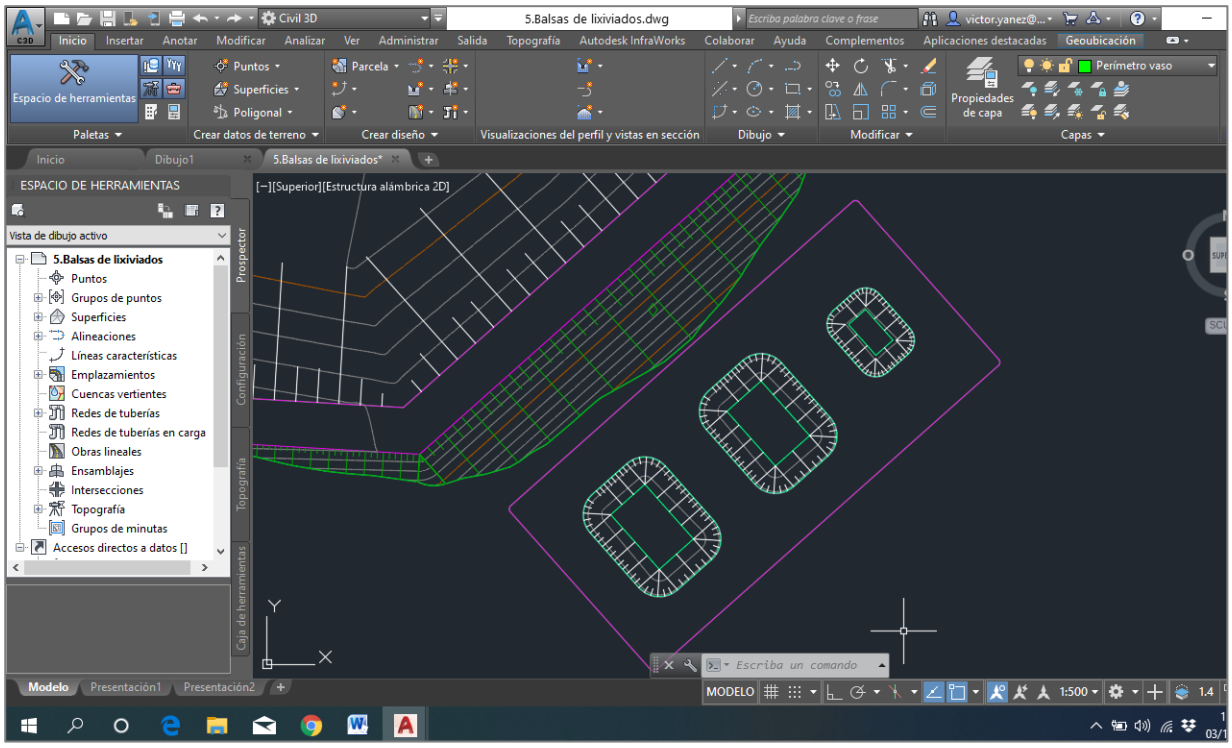


Ilustración 63: Explanación balsas de decantación

La segunda explanación, será la proyección de los taludes del contorno de la plataforma que contiene las balsas sobre el terreno. Se realizar por *Desmonte-Terraplén de Superficie* introduciendo:

- La línea característica sobre la cual se crea la explanación, contorno exterior.
- El tramo sobre el cual se crea la explanación, longitud completa.
- El lado de la explanación, lado exterior.
- El talud de la explanación, 2H:1V.

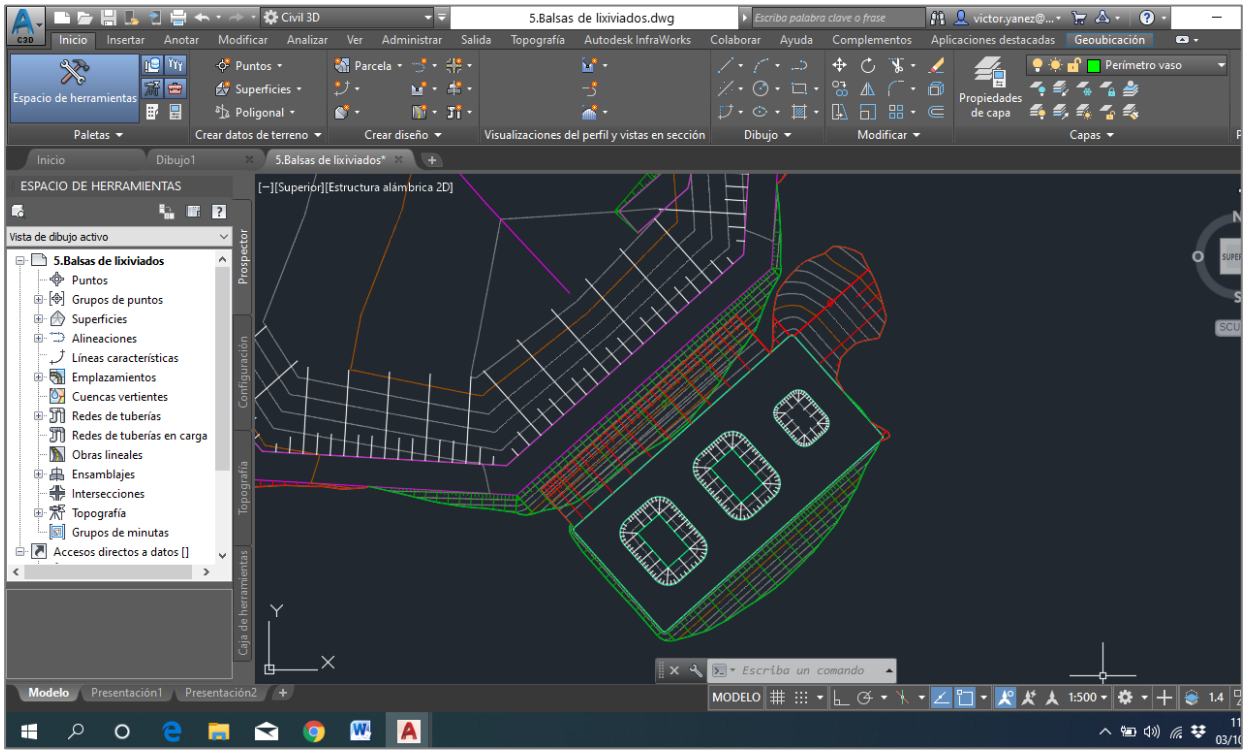


Ilustración 64: Explanación de la plataforma

Para finalizar se crean los terraplenes del fondo de las balsas y de la plataforma con el comando 'Crear explanación en terraplén' y haciendo click en el fondos de las tres balsas y en el interior de la plataforma.

El balance de tierras generado por las balsas de lixiviados se puede calcular en la 'Herramienta de volumen de explanación':

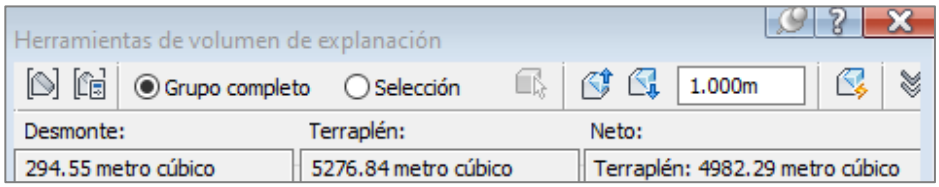


Ilustración 65: Movimiento de tierras total de las balsas de lixiviados

4.4.3 Unión y edición de superficies

Antes de unir las superficies correspondientes se debe de editar la superficie *Balsas*, pues anteriormente para dotar de inclinación longitudinal el fondo de las balsas se habían modificado las cotas de los contornos superiores de las balsas (ver *Ilustración 61*), y se deben de retornar a la elevación original de 342,40m para obtener una plataforma llana.

Para poder modificar la superficie lo primero que se debe hacer es cambiar la visualización de la superficie en 'Editar estilo de superficie' e introducir *Triángulos y Curvas de Nivel para edición de superficies*.

Una vez cambiado el estilo, se selecciona la superficie y en 'Editar superficie/ Modificar punto' se seleccionan los puntos del contorno superior de la balsas y se cambia la elevación a 342,40m. El proceso se repite para las tres balsas.

De esta forma únicamente se modifcan los puntos superiores de las balsas quedando los puntos inferiores con las elevaciones iniciales, y por tanto manteniendo la pendiente longitudinal creada para verter las aguas al cauce natural tras la decantación de las partículas arrastradas.

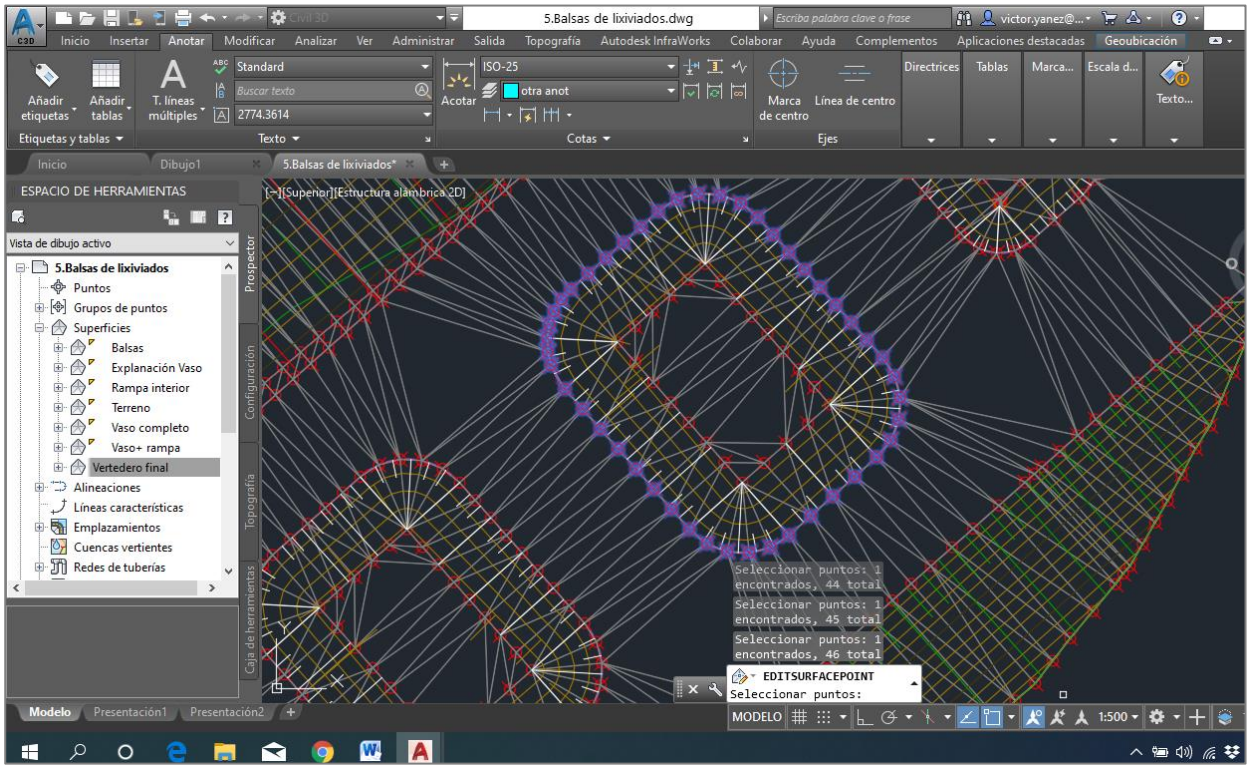


Ilustración 66: Modificación de las elevaciones de la parte superior de la balsas

Una vez modificada la superficie, para unir la superficie del *Vaso completo* con la superficie *Balsas*, se crea una nueva Superficie TIN con el nombre *Vertedero final* y se selecciona el estilo habitual de Curvas de Nivel cada 5 metros y Curvas de Nivel maestras cada 1 metro.

Una vez creada, en 'Definición / Ediciones / Pegar superficie' se unen las dos superficies en el siguiente orden: Primero *Vaso completo* y segundo *Balsas*. El resultado es el siguiente:

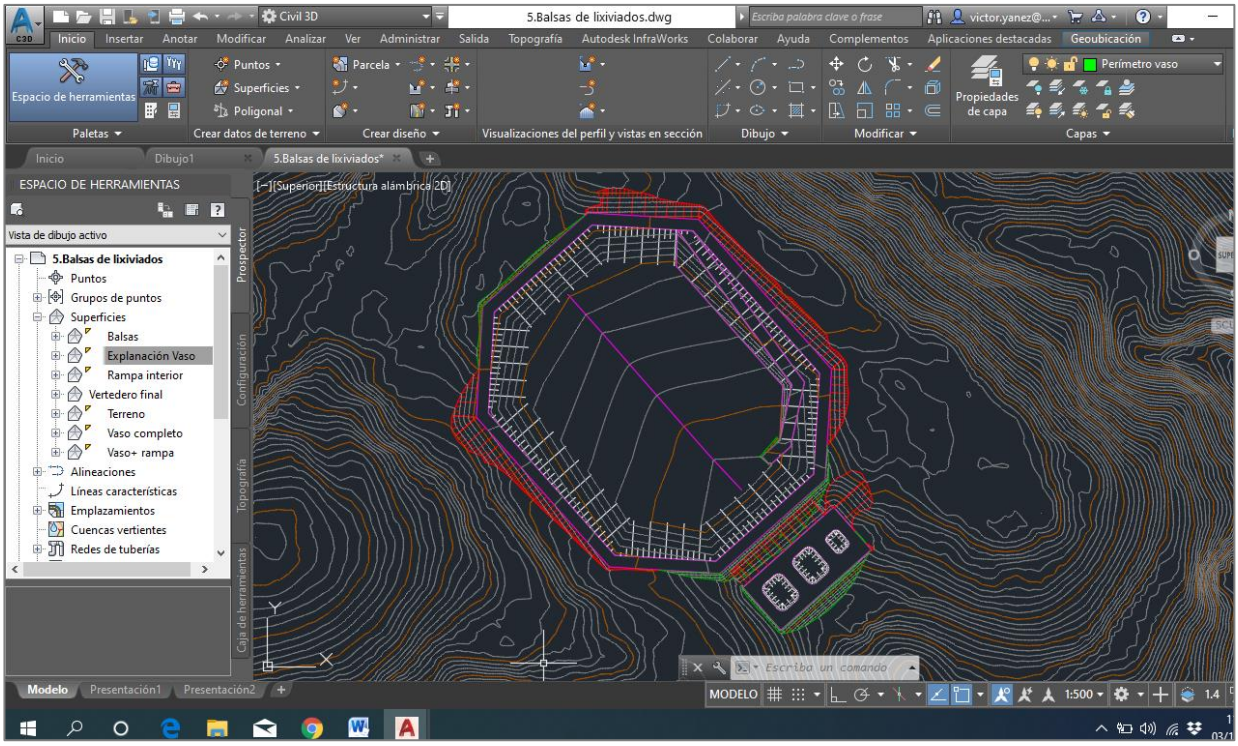


Ilustración 67: Superficie Vertedero final

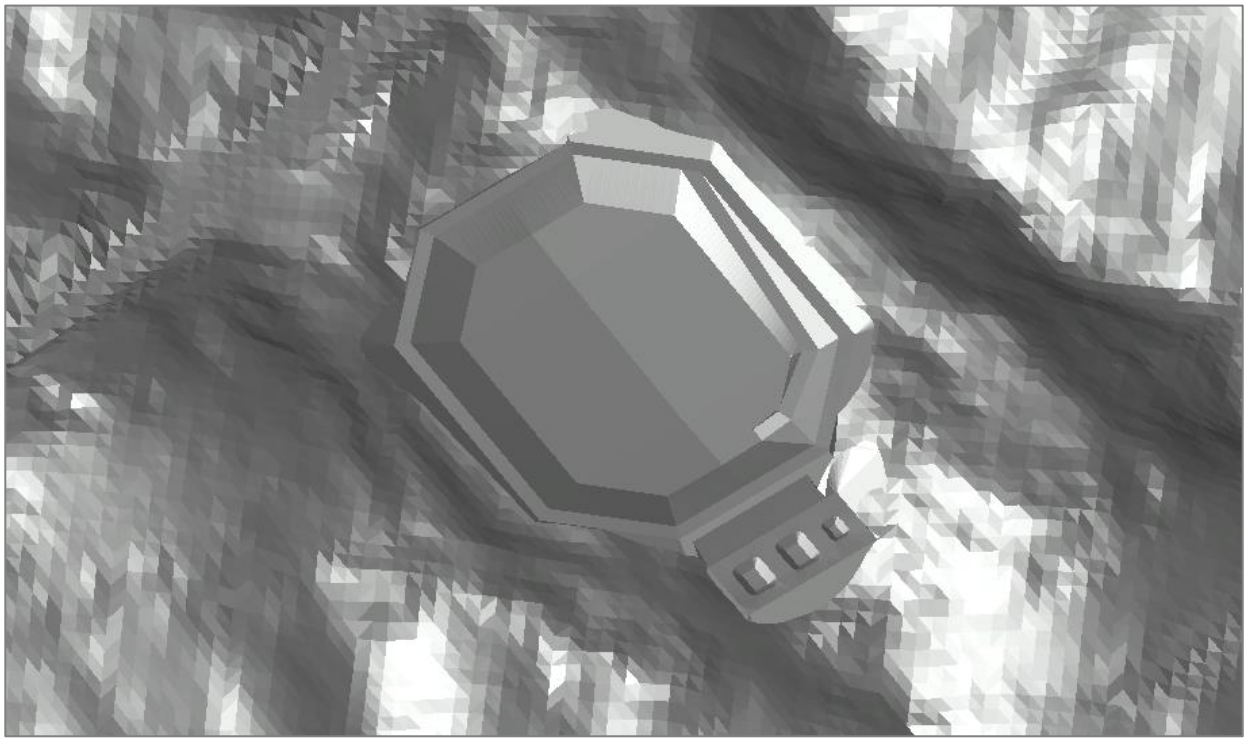


Ilustración 68: Vista 3D de la superficie Vertedero final

4.5 Sellado

El sellado del vertedero se realizará, al igual que el resto de explanaciones, a partir de una línea característica. Para ello se dibuja una polilínea de igual dimensión y posición que el contorno exterior del camino de coronación, ya que dicho camino quedará incluido dentro del sellado. Una vez dibujada se convierte como siempre a línea característica a partir del comando 'Crear línea característica a partir de objeto', en el cuadro desplegable se crea un nuevo emplazamiento con el nombre *Contorno sellado* y se selecciona la opción 'Asignar elevaciones'.

Al marcar la opción 'Asignar elevaciones' aparece un segundo cuadro desplegable en el que se selecciona 'Asignar elevaciones desde Superficie' y como superficie se selecciona *Explanación vaso*. De esta forma a la línea característica creada se le atribuye la altura correspondiente a la superficie *Explanación del vaso* sobre la que se proyecta verticalmente.

Una vez asignadas las elevaciones se crea un nuevo grupo de explanación con el nombre *Sellado*, y se marca la opción de creación automática de superficies. La superficie base de volumen en este caso no tiene relevancia pues la explanación no se proyectará sobre ninguna superficie.

Para crear los taludes y terraplenes en la 'Herramienta de creación de explanaciones' se introduce como emplazamiento *Contorno sellado*, como grupo de explanación *Sellado* y como superficie *Terreno*.

La explanación se creará con la opción *Elevación relativa y talud proporcional* introduciendo como altura 5m y como talud 4H:1V, de esta forma de proyecta a partir de la línea característica un talud 4H:1V hasta que alcance una altura en vertical de 5 metros.

Para finalizar se crea el terraplén de la parte superior con el comando 'Crear explanación en terraplén' y haciendo click en el hueco.

El resultado es el siguiente:

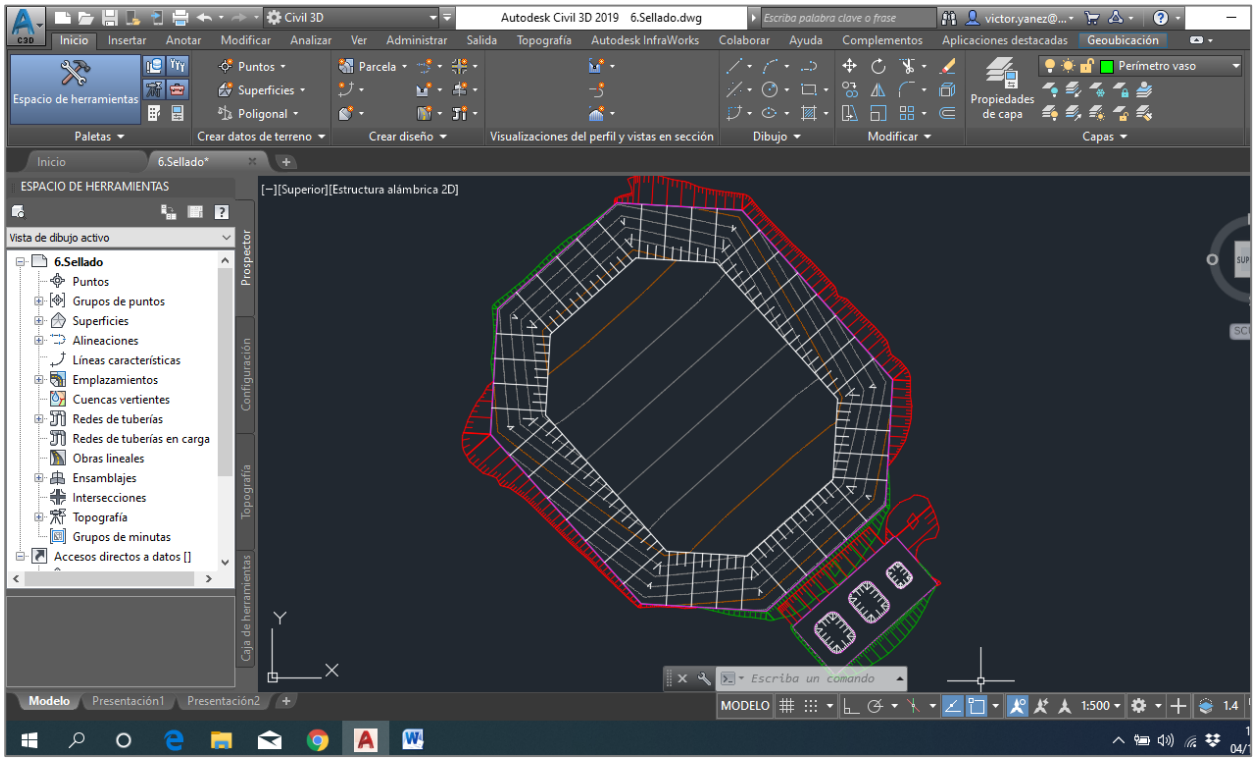


Ilustración 69: Superficie Sellado

Para unir ahora la superficie del *Vaso completo* con la superficie *Sellado*, se crea una nueva Superficie TIN con el nombre *Vertedero final sellado* y se selecciona el estilo habitual de Curvas de Nivel cada 5 metros y Curvas de Nivel maestras cada 1 metro. Una vez creada, en 'Definición / Ediciones / Pegar superficie' se unen las dos superficies en el siguiente orden: Primero *Vaso completo* y segundo *Sellado*.

El resultado es el siguiente:

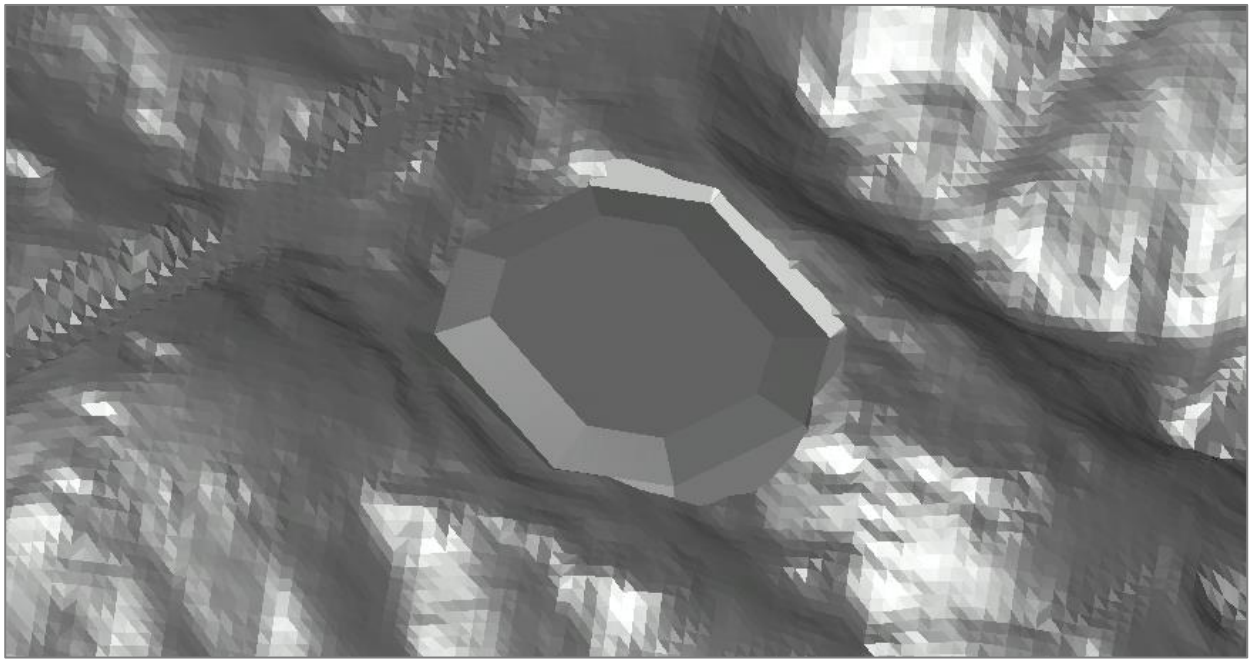


Ilustración 70: Vista 3D de la superficie Vertedero final sellado

4.6 Comprobación volumen celda de vertido y balsas

En este apartado se van a realizar los cálculos y comprobaciones del volumen de la celda de vertido y las balsas de lixiviados a partir del software AutoCAD Civil 3D.

4.6.1 Comprobación de la celda de vertido y el sellado

En esta sección se verificará que la capacidad para albergar residuos de la celda de vertido, incluyendo el sellado, cumple con el mínimo establecido en el apartado 3 de 100.000 m^3.

Para calcular el volumen de la celda se crea una superficie TIN con el nombre *Lámina de vertido* y con estilo de visualización *Triángulos 2D*. En dicha superficie en 'Definición / Línea de rotura' se selecciona la línea característica del contorno interior del camino de coronación definida anteriormente al crear la explanación de del vaso.

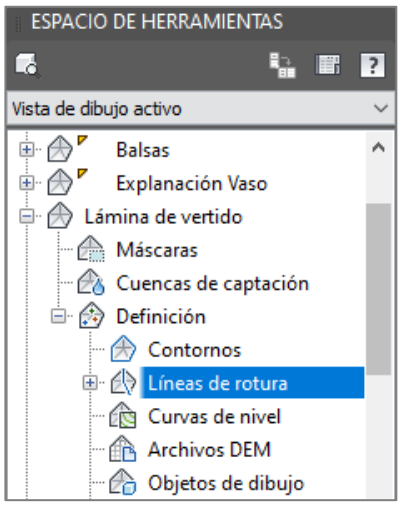


Ilustración 71: Inserción línea de rotura

De esta forma se crea como superficie una lámina que actúa como cubierta de la celda de vertido, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

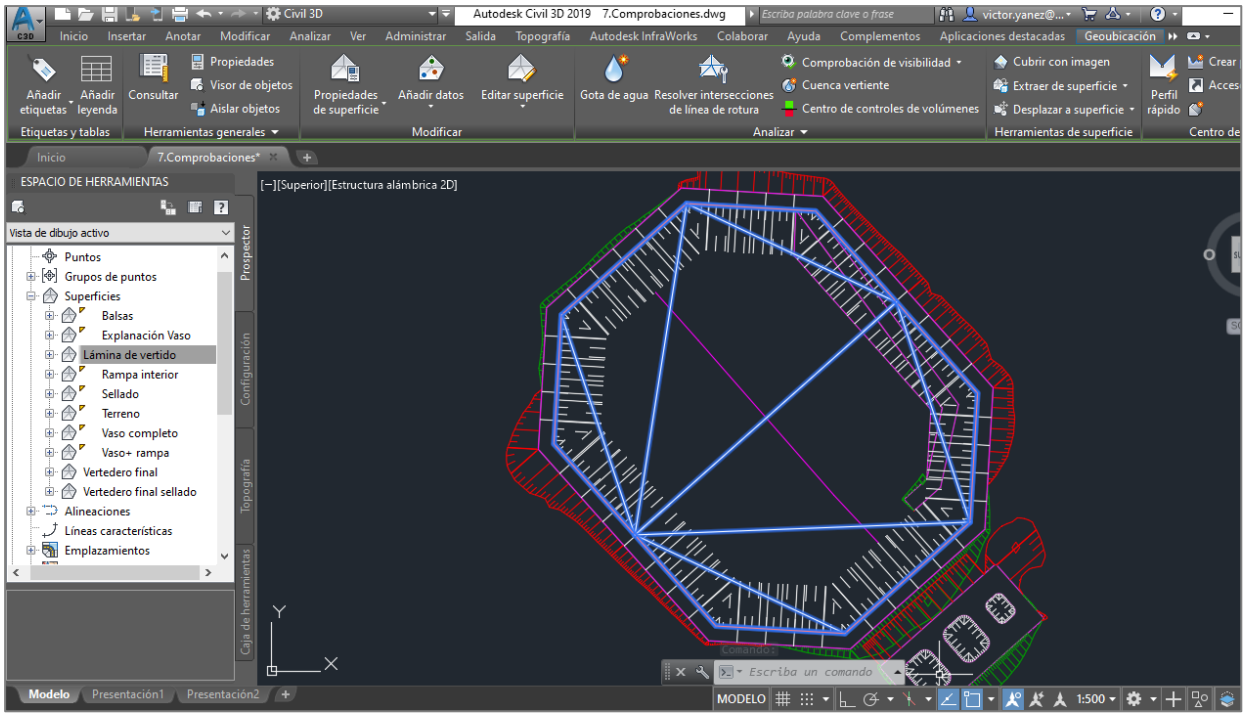


Ilustración 72: Lámina de la celda de vertido

Una vez creada la lámina, para calcular el volumen se crea una nueva superficie *Volumen celda de vertido* pero esta vez como superficie de volumen TIN, introduciendo como superficie base *Vaso completo* y como superficie de comparación *Lámina de vertido*.

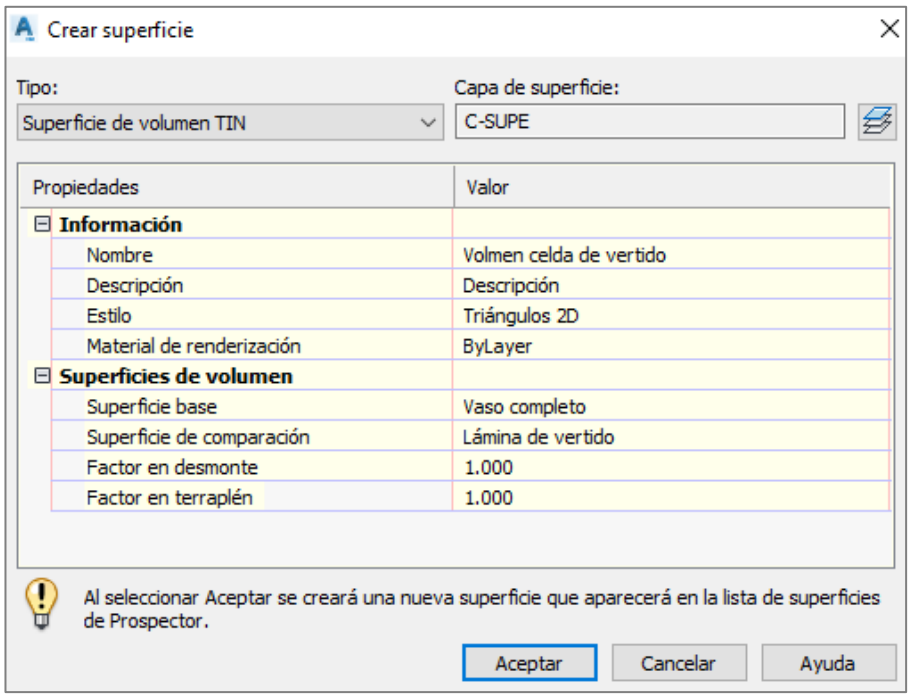


Ilustración 73: Creación de la superficie Volumen celda de vertido

De esta forma AutoCAD calcula el volumen comprendido entre la superficie base y la superficie de comparación. Cabe mencionar que se ha seleccionado como superficie de comparación la superficie *Vaso completo* y no la *Explanación vaso* porque contiene la rampa de acceso al fondo del vertedero, y de esta forma a la capacidad de residuos se le está restando el volumen que ocupa la rampa.

En la nueva superficie creada *Volumen celda de vertido*, en la opción 'Propiedades de superficie / Estadísticas' se puede observar el volumen de la celda de vertido, que será de 60.386 m^3.

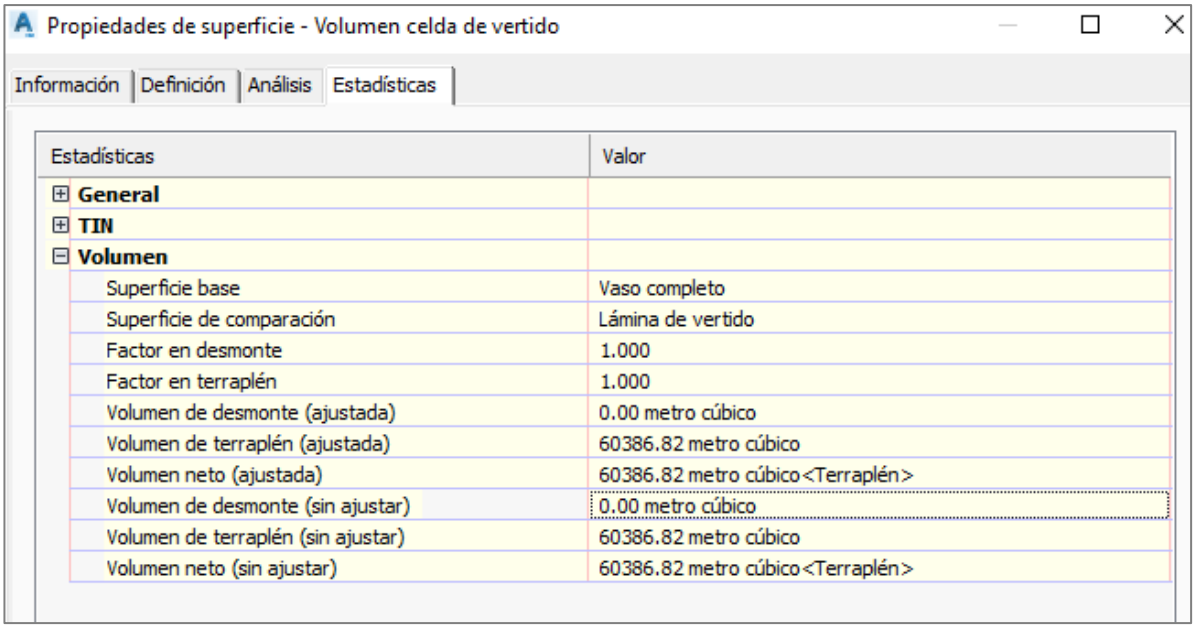
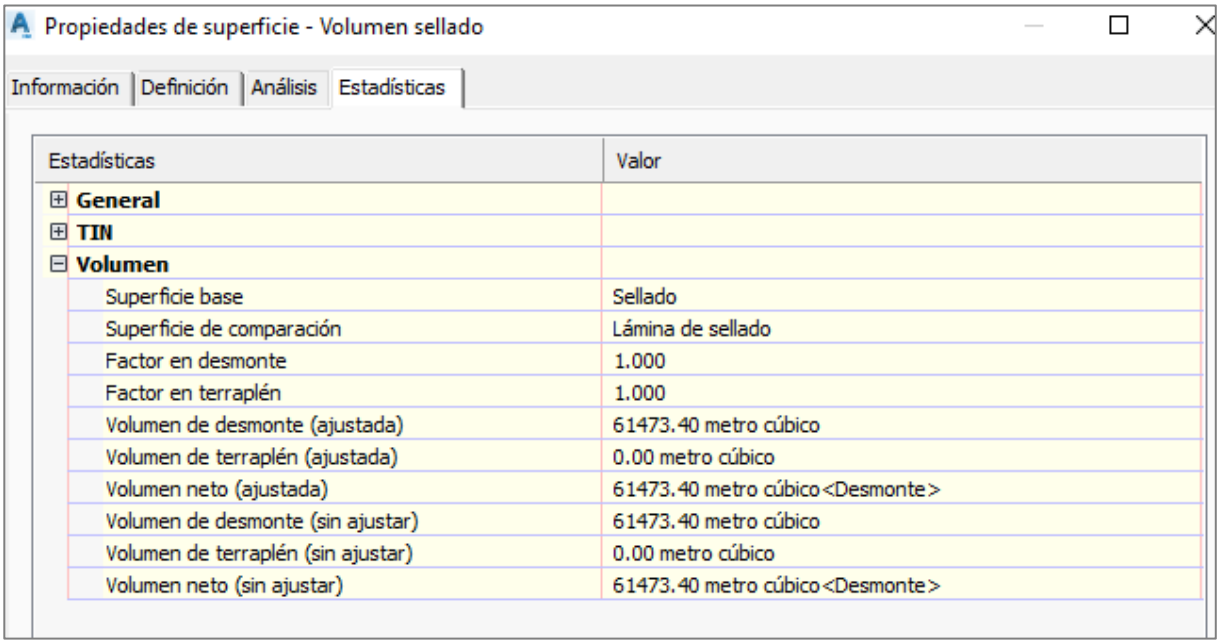


Ilustración 74: Volumen de la celda de vertido

Se repite el mismo proceso para el cálculo de la capacidad del sellado, se crea una superficie TIN con el nombre *Lámina de sellado* y con estilo de visualización *Triángulos 2D*. En dicha superficie en 'Definición / Línea de rotura' esta vez se selecciona la línea característica del contorno exterior del camino de coronación.

Una vez creada la lámina, para calcular el volumen se crea una nueva superficie *Volumen sellado* como superficie de volumen TIN, introduciendo como superficie base *Sellado* y como superficie de comparación *Lámina de sellado*. De esta forma AutoCAD calcula el volumen comprendido entre ambas superficies.

En la nueva superficie creada *Volumen sellado*, en la opción 'Propiedades de superficie / Estadísticas' se puede observar el volumen del sellado, que será de 61.473 m^3.



Estadísticas	Valor
⊞ **General**	
⊞ **TIN**	
⊟ **Volumen**	
Superficie base	Sellado
Superficie de comparación	Lámina de sellado
Factor en desmonte	1.000
Factor en terraplén	1.000
Volumen de desmonte (ajustada)	61473.40 metro cúbico
Volumen de terraplén (ajustada)	0.00 metro cúbico
Volumen neto (ajustada)	61473.40 metro cúbico<Desmonte>
Volumen de desmonte (sin ajustar)	61473.40 metro cúbico
Volumen de terraplén (sin ajustar)	0.00 metro cúbico
Volumen neto (sin ajustar)	61473.40 metro cúbico<Desmonte>

Ilustración 75: Volumen del sellado

Sumando ambos volúmenes, el de la celda y el del sellado, se obtiene el volumen total:

$$Vol_{total} = Vol_{celda} + Vol_{sellado} = 60.386 + 61.473 = 121.859 m^3$$

Ahora bien, para obtener el volumen total efectivo habrá que restarle a este volumen el ocupado por la barrera de impermeabilización de la celda, que se dispondrá en el fondo del vaso. Para calcular este volumen, se mide en AutoCAD el área que ocupa la celda en planta con el comando 'MEDIRGEOM' y se multiplica por la altura de la barrera de impermeabilización de 1.5m, de esta forma se obtiene de manera aproximada el volumen de la capa de impermeabilización.

$$Vol_{\,total\,efectivo} = Vol_{total} - Vol_{barrera}$$

$$Vol_{\,total\,efectivo} = 121.859 - 14.300 \times 1{,}5 = 100.409\ m^3$$

Se obtiene por tanto un volumen efectivo de 100.409 m^3, superior al volumen de 100.000 m^3 de residuos que se estimó que entrarán en el vertedero a lo largo de su vida útil.

4.6.2 Comprobación balsas de decantación

En este apartado se verificará que los volúmenes de las balsas de lixiviados y de pluviales son iguales o superiores a los volúmenes necesarios calculados en el apartado 3 de 309,6 m^3 y 18 m^3 respectivamente.

El procedimiento es el mismo que en la sección anterior, se crea una superficie TIN con el nombre *Lámina balsa*, en dicha superficie en 'Definición / Línea de rotura' se selecciona la línea característica del contorno de una de las dos balsas de lixiviados.

Se deberá de ajustar la nueva superfice creada en las esquinas, pues al ser curvas y AutoCAD crear la superficie uniendo los puntos mediante rectas se generan pequeñas inexactitudes. Para ello se cambia la visualización de la superficie en 'Editar estilo de superficie' y se selecciona *Triángulos y Curvas de Nivel para edición de superficies*. Una vez cambiado el estilo, en 'Editar superficie/ Añadir punto' se crean nuevos puntos en el centro de las esquinas con la misma elevación que el resto (342,40m).

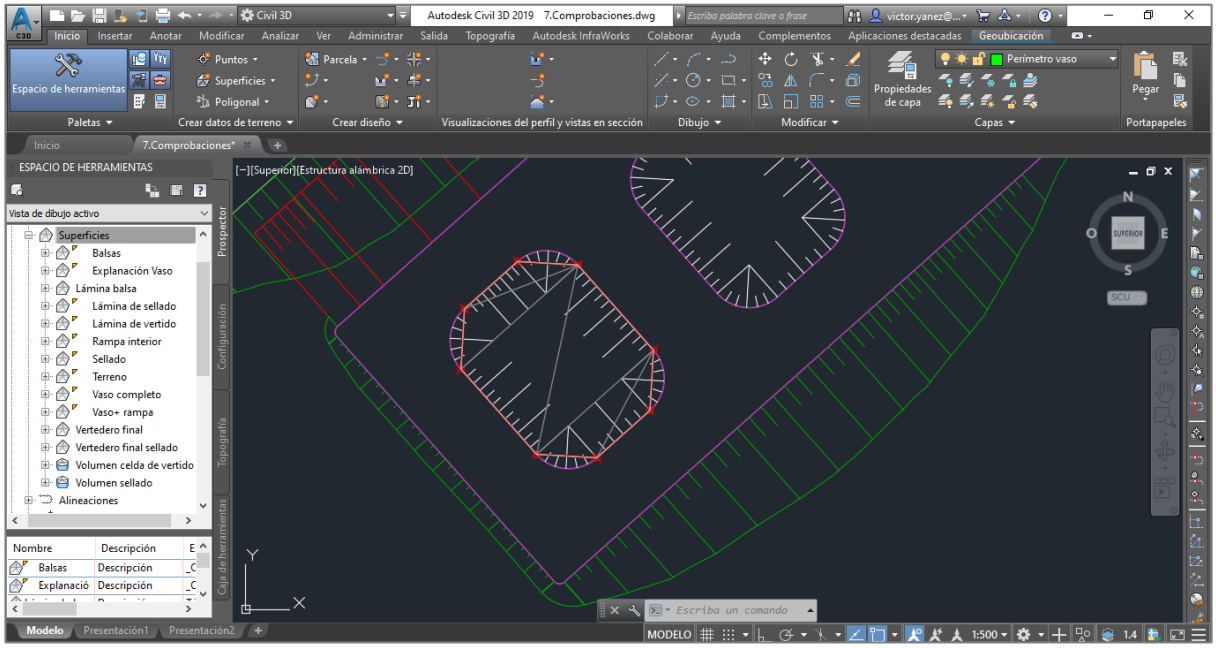


Ilustración 76: Lámina de la balsa antes de la edición

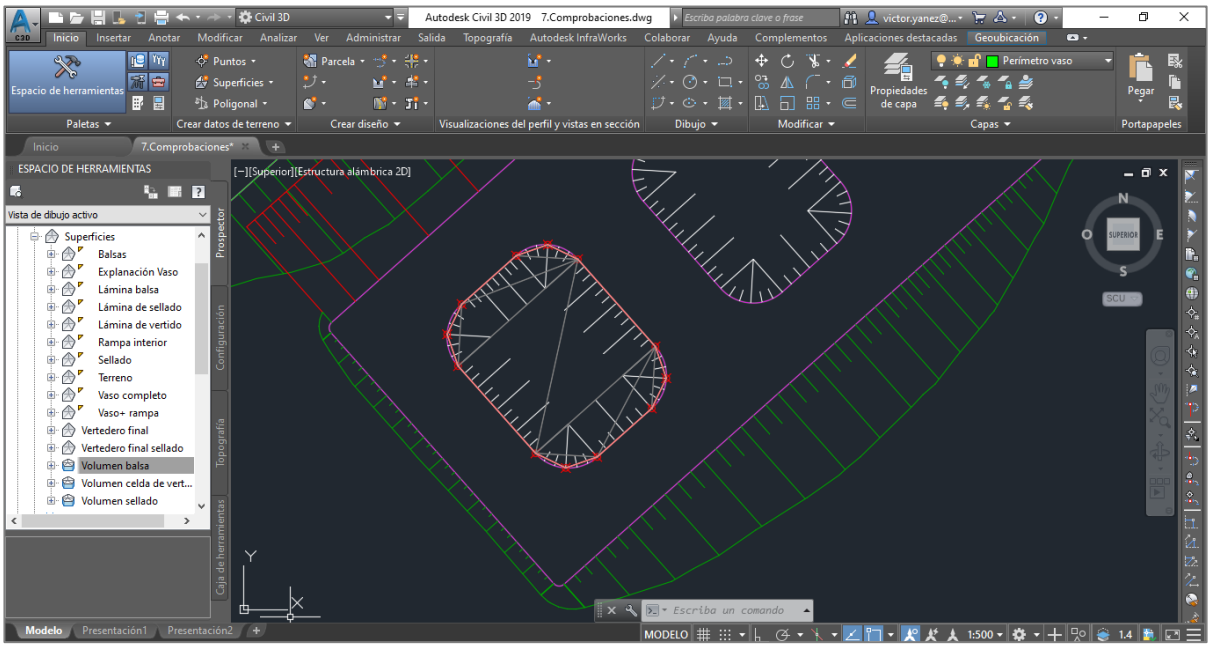


Ilustración 77: Lámina de la balsa después de la edición

Una vez creada y corregida la lámina, para calcular el volumen se crea igual que antes una nueva superficie *Volumen balsa* como superficie de volumen TIN, introduciendo como superficie base *Balsas* y como superficie de comparación *Lámina balsa*. De esta forma AutoCAD calcula el volumen comprendido entre ambas superficies.

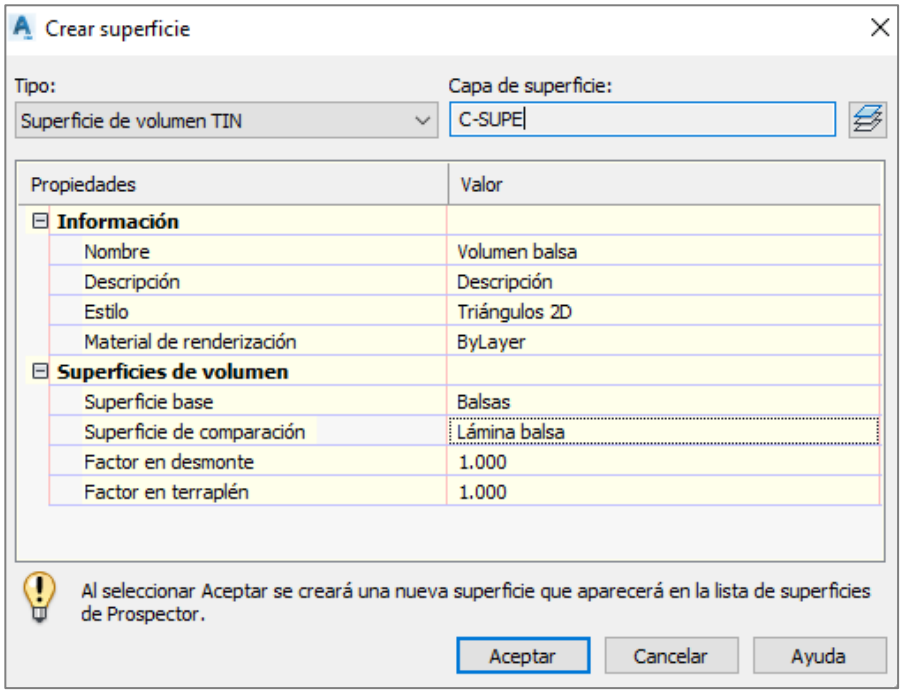


Ilustración 78: Creación de la superficie Volumen balsa

En esta nueva superficie, en la opción 'Propiedades de superficie / Estadísticas' se puede observar el volumen de la celda de vertido, que será de 168 m^3.

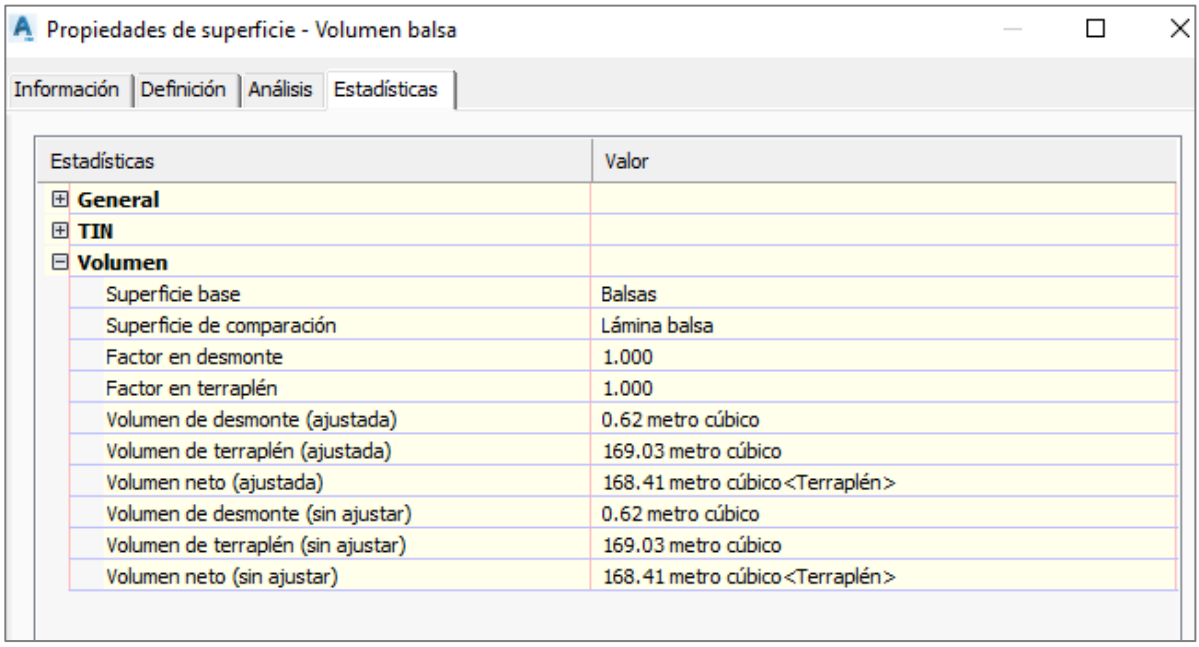


Ilustración 79: Volumen de la balsa de lixiviados

Como se tienen dos balsas de lixiviados, el volumen total de las balsas será de 168x2=336 m^3, superior a los 309,6m^3 necesarios.

Se repite el mismo procedimiento para la balsa de pluviales:

- Se crea una superficie TIN con el nombre *Lámina pluviales*, en dicha superficie en 'Definición / Línea de rotura' se selecciona la línea característica del contorno de la balsa de pluviales.
- Se edita la superficie para corregir las esquinas de la superficie.
- Se crea una nueva superficie *Volumen pluviales* como superficie de volumen TIN, introduciendo como superficie base *Balsas* y como superficie de comparación *Lámina pluviales*.

Finalmente se obtiene el siguiente volumen de la balsa de pluviales:

Propiedades de superficie - Volumen pluviales

Información | Definición | Análisis | Estadísticas

Estadísticas	Valor
General	
TIN	
Volumen	
Superficie base	Balsas
Superficie de comparación	Lámina pluviales
Factor en desmonte	1.000
Factor en terraplén	1.000
Volumen de desmonte (ajustada)	0.17 metro cúbico
Volumen de terraplén (ajustada)	46.87 metro cúbico
Volumen neto (ajustada)	46.70 metro cúbico<Terraplén>
Volumen de desmonte (sin ajustar)	0.17 metro cúbico
Volumen de terraplén (sin ajustar)	46.87 metro cúbico
Volumen neto (sin ajustar)	46.70 metro cúbico<Terraplén>

Ilustración 80: Volumen de la balsa de pluviales

El volume total de la balsa de pluviales sera de 46 m^3, superior al volume necesario de 18 m^3.

4.7 Camino de acceso

4.7.1 Dibujo en planta de la alineación

El camino de acceso conectará el vertedero, tanto las balsas de lixiviados como la rampa de acceso al fondo del vertedero, con la carretera N-120 aprovechando el nudo que hay a poco más de un kilómetro de distancia en dirección este.

El trazado en planta del camino de acceso se va a realizar mediante la 'Herramienta de composición de alineaciones', la cual posee una serie de aplicaciones que facilitan el diseño en planta de carreteras como pueden ser el dibujo de líneas tangente-tangente de manera sencilla y rápida o la creación de trazados y curvas de diversas tipologías aplicando diferentes restricciones.

Para ello se creará una *Alineación principal* que conectará la carretera existente al este que deriva en el nudo de acceso a la N-120 con las balsas de lixiviados, y una *Alineación secundaria* que conectará la Alineación principal con la rampa de acceso al fondo del vertedero.

Las alineaciones se crean en 'Alineación / Herramientas de creación de alineaciones' indicando el nombre de la alineación, creando un nuevo emplazamiento *Carretera* y seleccionando el estilo y las etiquetas que se crean oportunas. Como información adicional, en la pestaña de Normas de diseño se puede seleccionar la *Instrucción de Carreteras* o la normativa Americana *AASHTO 2011* para que AutoCAD compruebe el cumplimiento de las mismas a la hora de realiazar el trazado de una carretera, aunque en este caso no será necesario por tratarse simplemente de un camino de acceso.

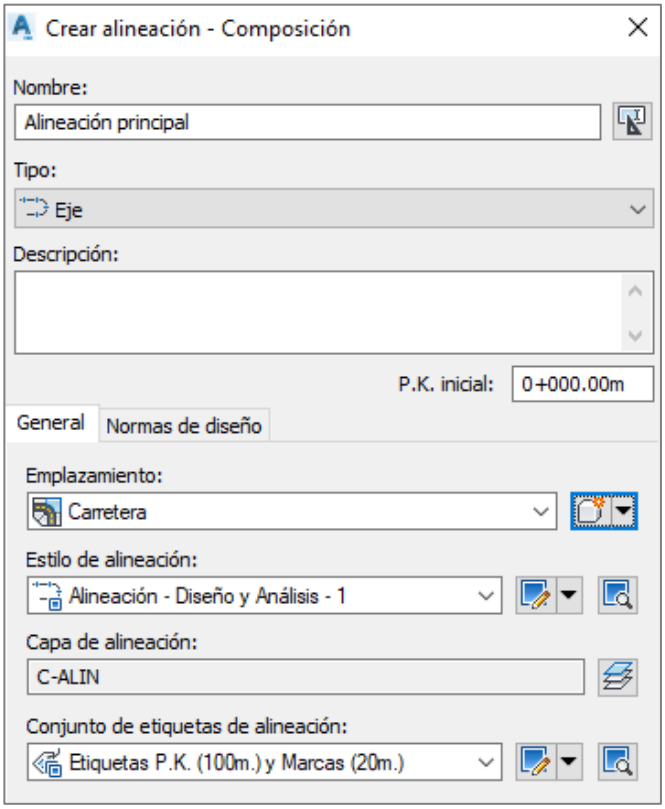


Ilustración 81: Creación de la alineación principal

El trazado se realiza combinando los siguientes comandos de la barra de herramientas:

- Recta tangente-tangente
- Empalme de curva libre (entre dos entidades y un punto de paso)
- Curva fija (3 puntos)

Ilustración 82: Trazado en planta del camino de acceso

Número	Tipo	Longitud	Radio	P.K. inicial	P.K. final	Longitud de cuerda	Flecha del arco	Tangente externa	Secante externa
1	Curva	79.441m	73.800m	0+000.00m	0+079.44m	75.661m	10.434	44.059m	12.151m
2	Línea	86.096m		0+079.44m	0+165.54m				
3	Curva	84.789m	64.530m	0+165.54m	0+250.33m	78.820m	13.432	49.770m	16.964m
4	Línea	98.116m		0+250.33m	0+348.44m				
5	Curva	143.245m	141.800m	0+348.44m	0+491.69m	137.232m	17.707	78.407m	20.233m
6	Línea	122.176m		0+491.69m	0+613.86m				
7	Curva	203.373m	356.312m	0+613.86m	0+817.24m	200.623m	14.412	104.540m	15.019m
8	Línea	67.614m		0+817.24m	0+884.85m				
9	Curva	51.036m	349.183m	0+884.85m	0+935.89m	50.990m	0.932	25.563m	0.934m
10	Línea	4.709m		0+935.89m	0+940.59m				
11	Curva	35.346m	191.963m	0+940.59m	0+975.94m	35.296m	0.813	17.723m	0.816m
12	Línea	5.415m		0+975.94m	0+981.36m				
13	Curva	36.941m	56.657m	0+981.36m	1+018.30m	36.290m	2.984	19.154m	3.150m
14	Línea	29.739m		1+018.30m	1+048.04m				

Ilustración 83: Tabla de información de la alineación principal

Número	Tipo	Longitud	Radio	P.K. inicial	P.K. final	Longitud de cuerda	Flecha del arco	Tangente externa	Secante externa
1	Curva	133.501m	94.286m	0+000.00m	0+133.50m	122.625m	22.658	80.707m	29.825m

Ilustración 84: Tabla de información de la alineación secundaria

Ver *Plano 6.1: Camino de acceso: Planta general.*

4.7.2 Creación del perfil y de la rasante

Una vez creada la alineación, se crea el perfil de ésta sobre la superficie *Vertedero final*, para ello en la opción 'Perfil de superficie' se selecciona la *Alineación principal* en un caso y la *Alineación secundaria* en el otro y la superficie *Vertedero final*, por último se marca'Añadir' y 'Dibujar visualización en perfil'.

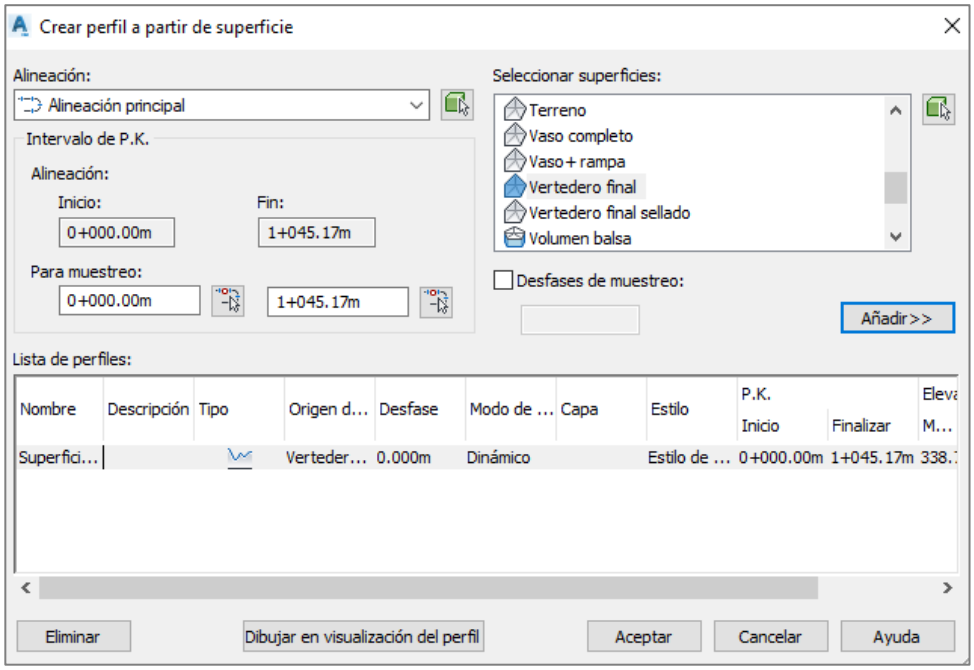


Ilustración 85: Creación del perfil del terreno de la alineación principal

Una vez dibujados los perfiles del terreno de ambas alineaciones, se crean las rasantes de las carreteras en 'Herramientas de creación de perfiles' seleccionando primero la *Alineación principal* y repitiendo el mismo procedimiento para la *Alineación secundaria*.

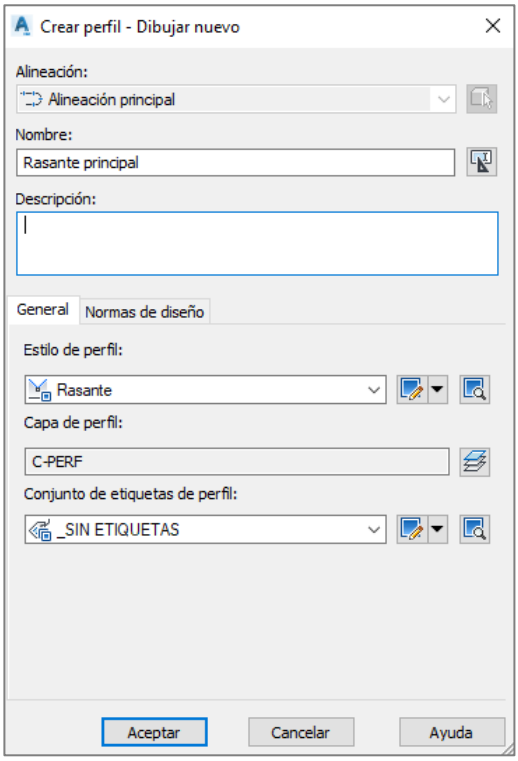


Ilustración 86: Creación de la rasante principal

Las rasantes se dibujan mediante tangentes y los acuerdos se realizan a través de parábolas, procurando además que el movimiento de tierras sea mínimo y que no exceda una pendiente superior al 11%.

Se deberán de cumplir las siguientes restricciones a la hora de trazar las rasantes:

- Los puntos iniciales y finales de las rasantes deberán de coincidir con los perfiles del terreno.
- La altura de la rasante de la alineación principal deberá de coincidir con la del camino de coronación en el tramo paralelo.
- Las cota de la rasante principal y secundaria deberá de ser la misma en el punto de unión.
- La elevación de la rasante principal será la misma que la de la N-120 en el tramo próximo y paralelo.

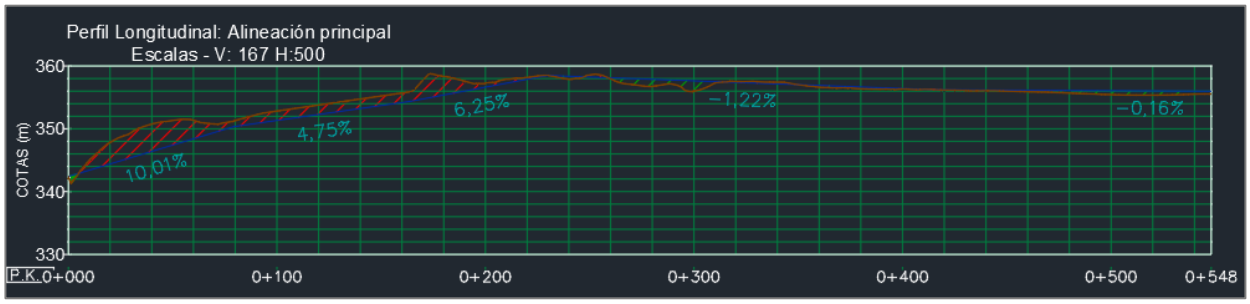


Ilustración 87: Perfil longitudinal Alineación y rasante principal (PK:0+000 a PK:0+548)

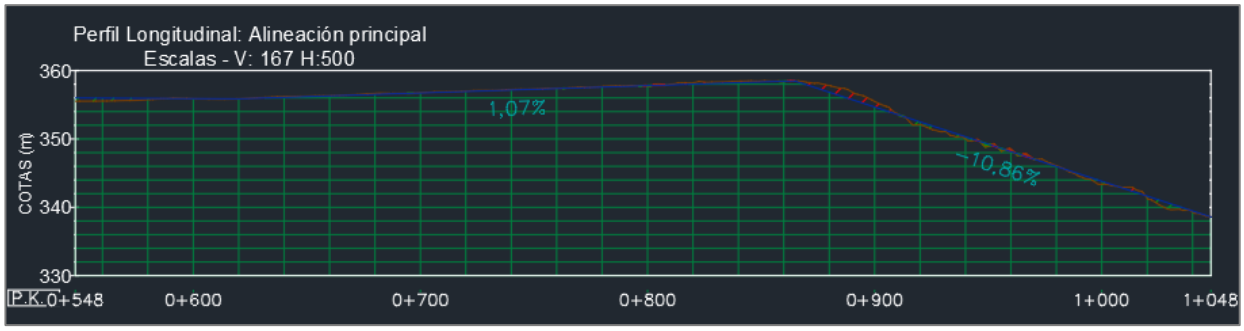


Ilustración 88: Perfil longitudinal Alineación y rasante principal (PK:0+548 a PK:1+048)

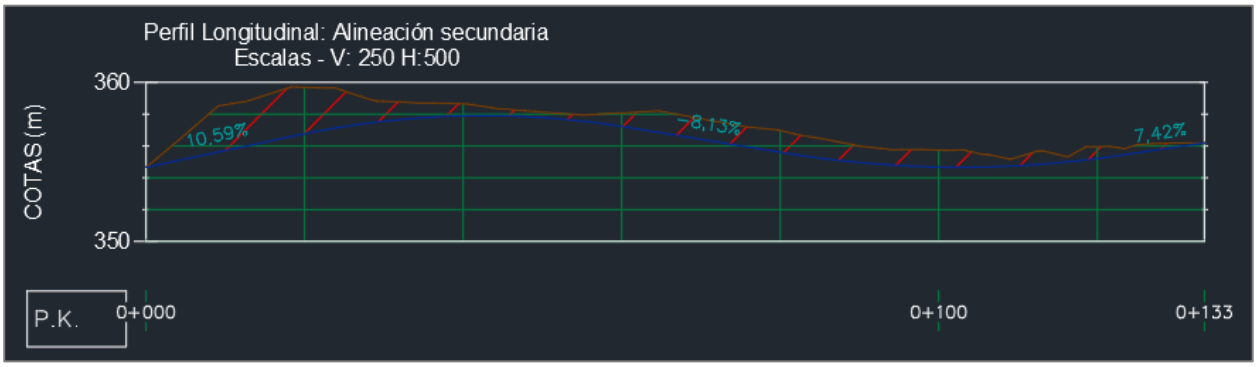


Ilustración 89: Perfil longitudinal Alineación y rasante secundaria

Ver detalladamente en el *Plano 6.2: Camino principal: Perfil longitudinal* y *Plano 6.3*: *Camino secundario: Perfil longitudinal.*

4.7.3 Ensamblaje

Una vez definido el camino de acceso tanto en planta como en alzado, el siguiente paso para modelar el camino en 3D es la creación del ensamblaje de la carretera.

Para ello se selecciona 'Crear ensamblaje' y se despliega la 'Paleta de herramientas', en ella aparecen diversas opciones de las cuales la que más se ajusta al camino de acceso que se quiere crear es la de *Carril Básico* con los siguientes parámetros:

- Anchura del carril derecho/izquierdo de 2.5 m, puesto que el total de la carretera será de 5 metros.
- Se establece como profundidad 0.18m, que corresponden con la capa de Hormigón de Firme calculada en el apartado 3.
- Inclinación transversal del 2% para la evacuación de aguas.

Los taludes de la carretera se crean en la opción *Pendiente talud cunetas* en la que se indican el modo de diseño de los taludes en desmonte y terraplén:

- Desmonte: 1:1
- Terraplén: 2:1

Además se pueden crear las cunetas a partir de una serie de valores:

Nombre de valor	Valor de entrada por defecto
Lado	Izquierdo
Vínculo de intersección	Incluir vínculo de intersección
Talud en desmonte	1.0:1
Talud en terraplén	2.0:1
Talud interior de cuneta	1.0:1
Anchura de talud interior de cuneta	0.250m
Anchura inferior	0.250m
Talud exterior de cuneta	1.0:1
Anchura de talud exterior de cuneta	0.250m

Ilustración 90: Parámtros introducidos para la cuneta

El resultado final del ensamblaje definido por los dos subensamblajes es el siguiente:

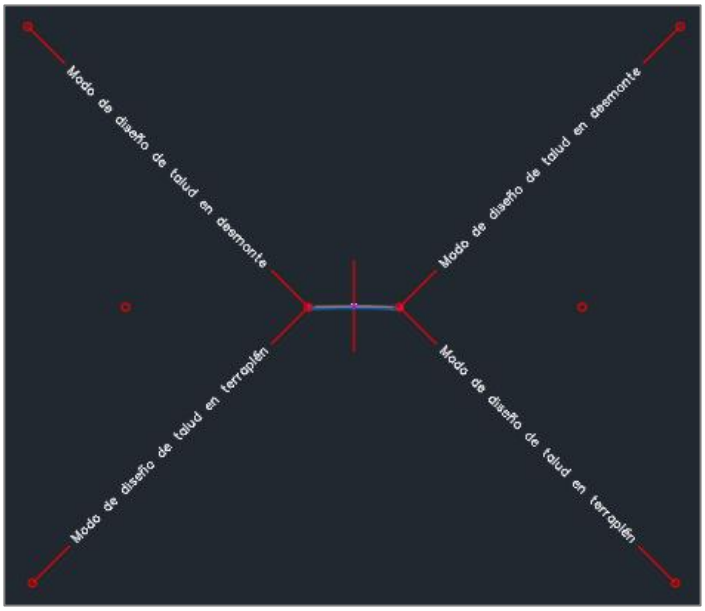


Ilustración 91: Ensamblaje camino de acceso

4.7.4 Obra lineal

Por último se creará la obra lineal para poder definir la superficie 3D y poder calcular definitivamente el movimiento de tierras.

Para ello en 'Crear obra lineal' se selecciona la alineación, la rasante, el ensamblaje y la superficie objetivo correspondientes tanto para la *Alineación principal* como para la *Alineación secundaria*. De esta forma se crean dos obras lineales una para cada alineación.

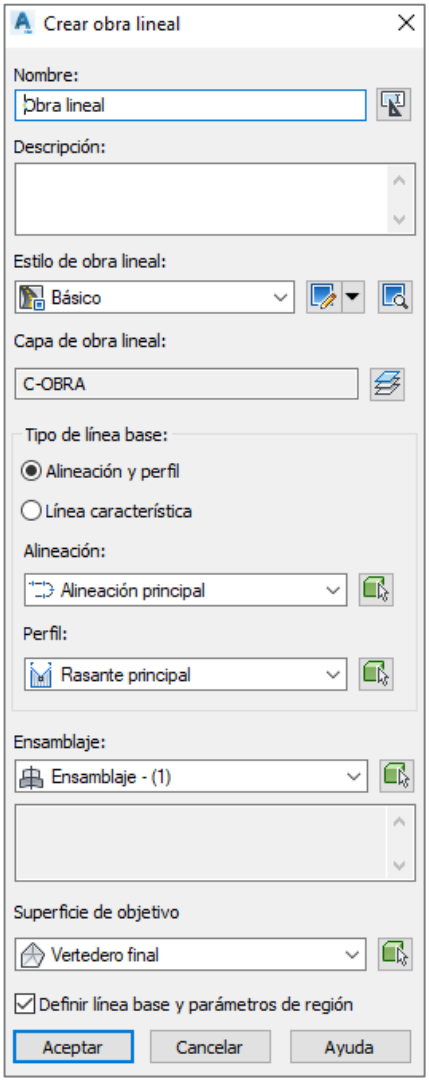


Ilustración 92: Creación de la Obra lineal de la Alineación principal

Una vez creadas las dos obras lineales, en 'Propiedades de obra lineal' se establecen los siguientes parámetros:

- Frecuencia de los perfiles transversales cada 20 metros.
- Se crean las superficies *Obra lineal1*/ *Obra lineal 2*, indicando el Código *Superior*, lo que significa que la superficie se creará a partir de las caras superiores de las estructuras (el caso contrario se denonima *Datum*).
- Se establece como contorno de las superficies el parámetro *Intersección* (incluye desmonte y terraplén).

Por último se crea una nueva superficie *Resultado*, pegándole a la superficie *Vertedero final* las superficies *Obra lineal 2* y *Obra lineal 1* en este orden.

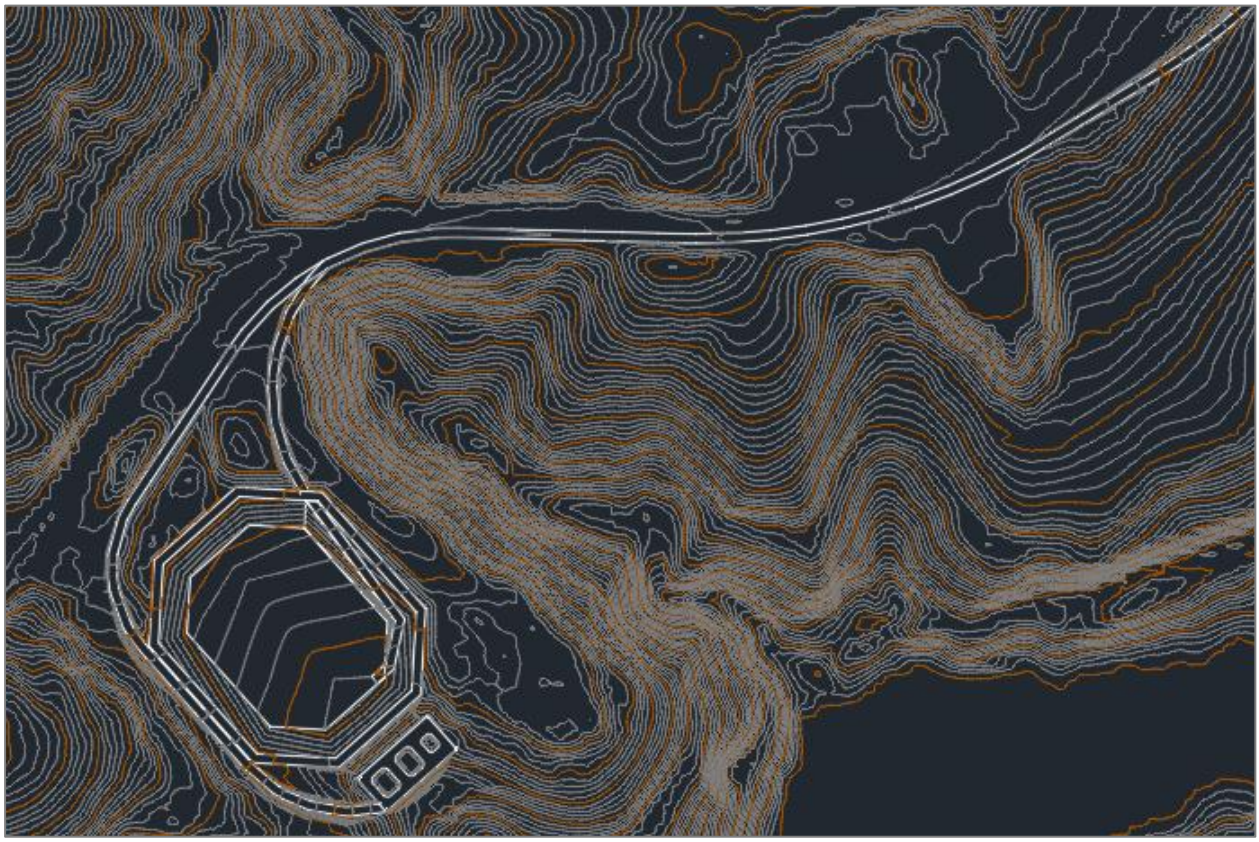


Ilustración 93: Superficie Resultado

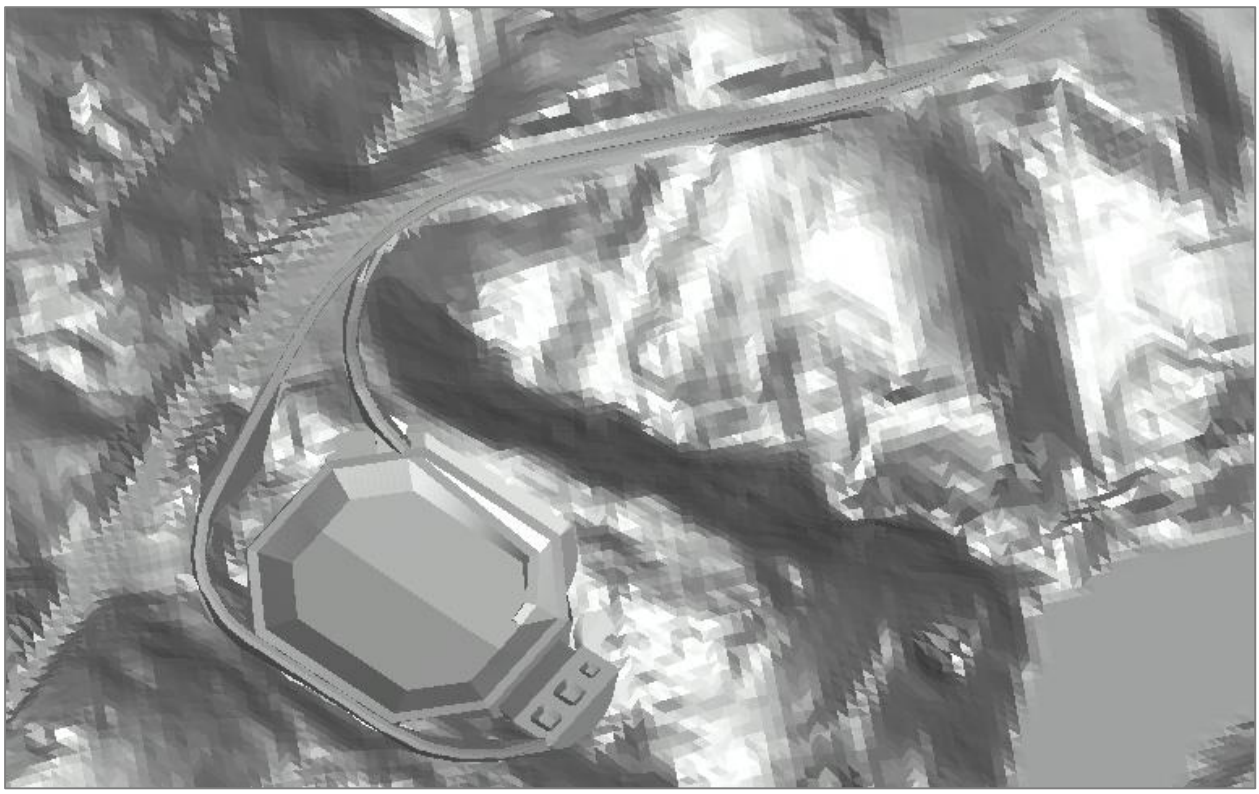


Ilustración 94: Vista en 3D de la Superficie Resultado

4.7.5 Creación de los perfiles transversales y cálculo del movimiento de tierras

Los perfiles transversales se crearán mediante las líneas de muestreo definidas a partir de una alineación.

Se crearán por tanto con el comando 'Líneas de muestreo' dos Grupos de Líneas de Muestreo, una para cada alineación, con las siguientes características:

- Las líneas de muestreo se realizarán cada 20 m a lo largo de la alineación.
- El ancho de cada línea de muestreo será de 15 m tanto a la derecha como a la izquierda, de esta forma se cubre la sección más amplia y por tanto todas las secciones.
- Se indica que se hagan perfiles en el punto de inicio y final de la alineación.

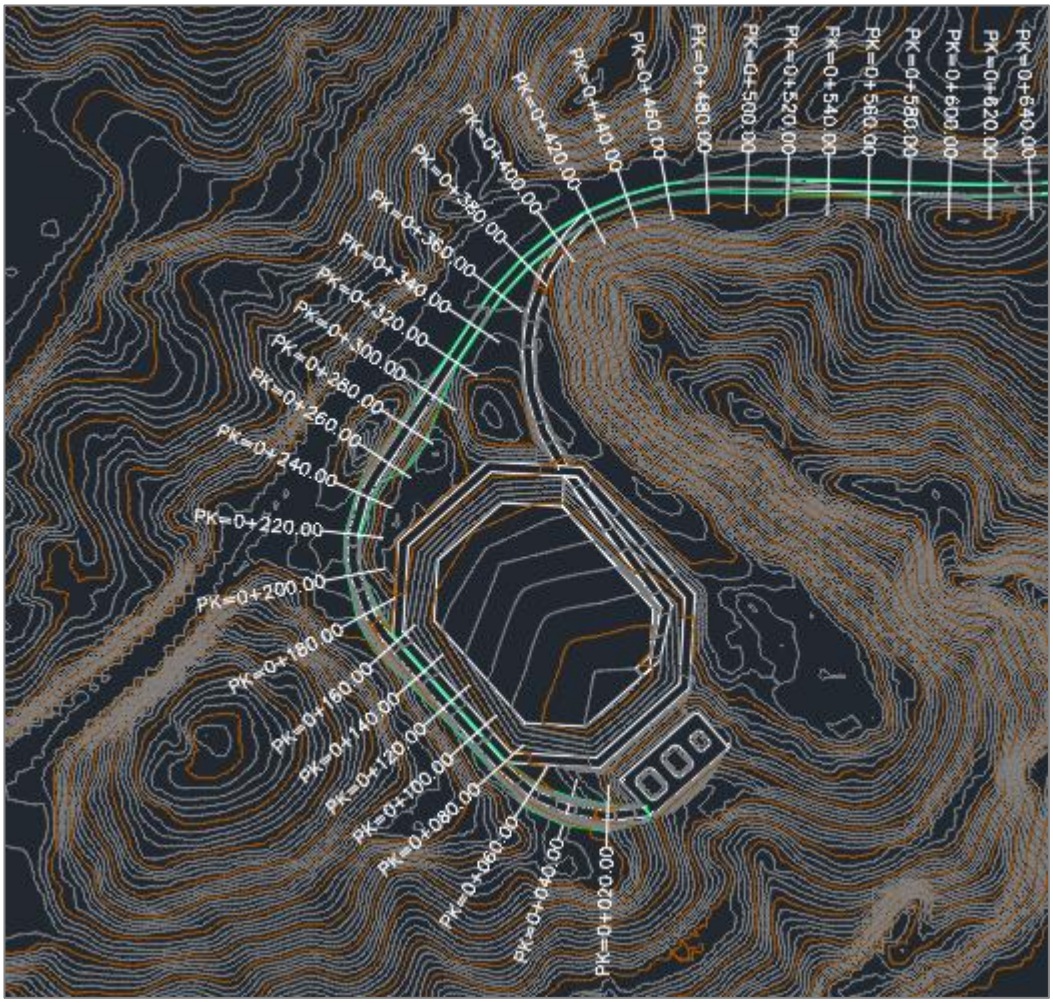


Ilustración 95: Grupo de Líneas de Muestreo (Alineación principal)

Una vez creados los Grupos de Líneas de Muestreo, en la opción 'Crear varias vistas en sección' se introducen la superficie *Vertedero final* (contiene el terreno, el vaso y las balsas) y la superficie *Obra línea1/Obra lineal2* dependiendo del caso en el que se esté. De esta forma al realizar los perfiles transversales aparecerá la obra lineal con los taludes y su intersección con el terreno.

Para calcular finalmente el movimiento de tierras en 'Analizar / Calcular materiales' se selecciona la alineación y el Grupo de Muestreo requerido y en el siguiente cuadro desplegable se introducirán dos superficies:

- Superfiie EG: La superficie base (*Vertedero final*).
- Superficie Datum: La superficie de comparación (*Obra lineal 1/Obra lineal 2*)

Tras este paso, las secciones transversales se colorearán de verde (terraplén) y rojo (desmonte) y se crea una lista de materiales de desmonte y de terraplén.

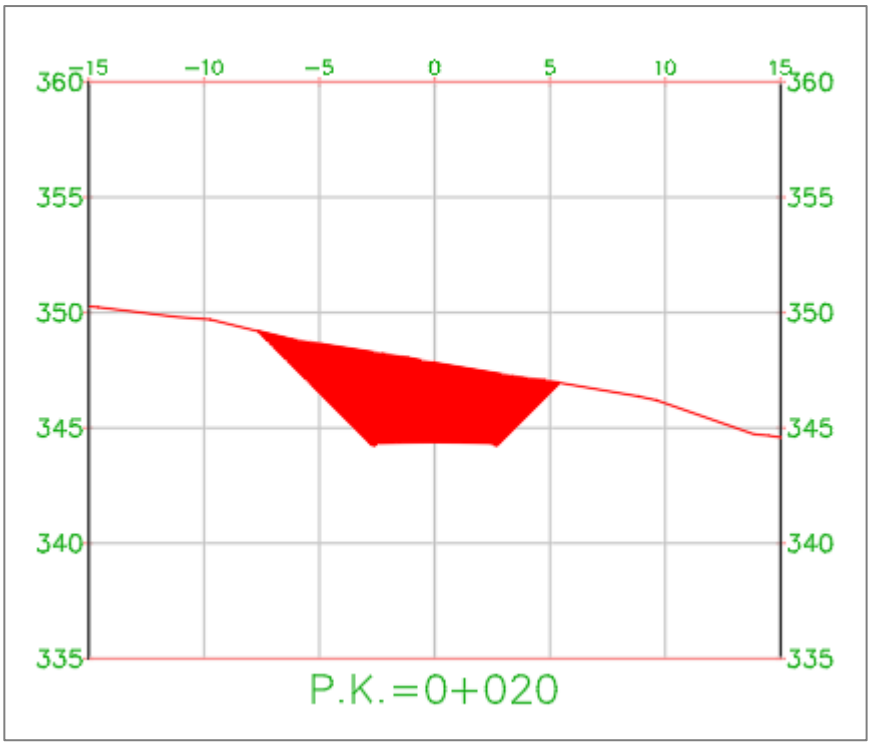


Ilustración 96: Sección transversal en desmonte (Alineación principal)

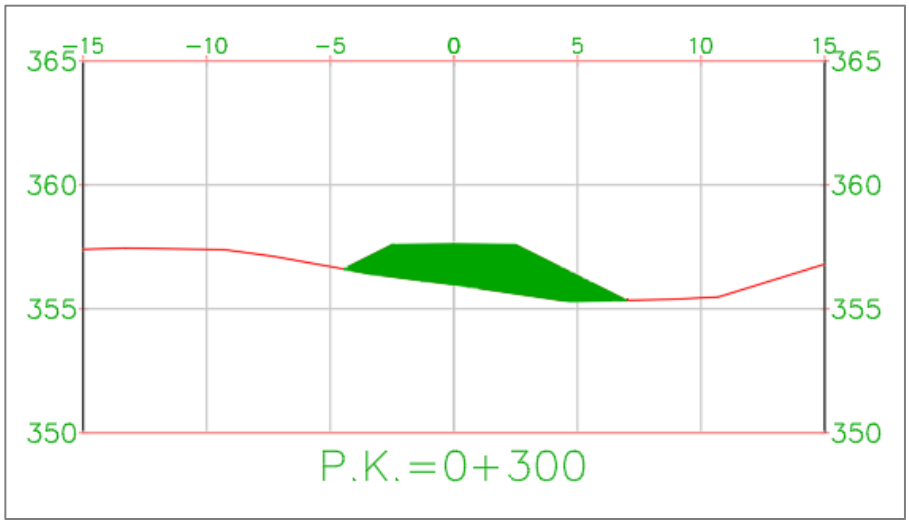


Ilustración 97: Sección transversal en terraplén (Alineación principal)

Ver *Planos 7.1, 7.2, 7.3, 7.4* y *8*.

Por último en 'Analizar / Informe de volumen' se puede crear un Informe de cubicación en el que aparecen los datos referentes a volúmenes de desmonte y terraplén. Los parámetros a introducir son la alineación, el Grupo de Muestreo y la lista de materiales anteriormente creada.

Los resultados pueden observarse en los Anexo 2 y 3. De igual forma se calculará el movimiento de tierras de la celda de vertido, rampa de acceso al fondo del vertedero y balsas de decantación en el Anexo1.

5 CONCLUSIONES

Las principales ventajas que puede ofrecer el empleo del software AutoCAD Civil 3D en obras de Ingeniería Civil de tipo no lineal como pueden ser la construcción de vertederos o balsas son las siguientes:

En el diseño y creación de explanaciones:

- Sencillez y rapidez en la creación y elaboración de explanaciones, taludes y terraplenes, ya que el programa está integrado por numerosas herramientas que facilitan y aceleran su diseño y cálculo.
- Medición con total precisión de los movimientos de tierras producidos.
- Facilidad para modificar y editar explanaciones, generando automáticamente nuevas superficies y recalculando los movimientos de tierra producidos.
- El programa posee numerosas aplicaciones de gran utilidad como puede ser por ejemplo la búsqueda de alturas óptimas que permitan movimientos de tierra equlibrados.

En la cubicación de movimientos de tierra:

- Elaboración de informes de movimientos de tierra con gran precisión, dicha precisión se puede aumentar o reducir en función de la frecuencia de los perfiles del terreno, teniendo en cuenta que una mayor precisión requerrirá un gasto computacional mayor.
- Creación automática de curvas de nivel y de perfiles del terreno.

Posibilidad de generación de una gran cantidad de escenarios hipotéticos:

Una de las principales características y ventajas de este programa es que todos los entornos de trabajo están relacionados, es decir, cualquier cambio y modificación realizado en el proyecto regenera automáticamente el diseño y actualiza la información contenidas en los perfiles, tablas…

Todo ello permite la creación de una mayor cantidad de escenarios hipotéticos en el proyecto, muy importante a la hora de la toma de decisiones.

El programa está integrado por una gran cantidad de aplicaciones:

AutoCAD Civil 3D contiene numerosas aplicaciones y herramientas de consulta que facilitan y ayudan a la comprensión de la zona de estudio y a la elaboración del proyecto, las más importantes para este tipo de trabajos son:

- Creación de planos de pendientes.
- Creación de planos de elevaciones.
- Análisis del drenaje superficial.
- Análisis de visibilidad.

El entorno 3D de trabajo:

La visualización en 3D permite una mejor comprensión del terreno, de las estructuras y de todo el entorno del proyecto en general.

Además la existencia de extensiones como Infraworks posee numerosas ventajas como:

- Crear un impacto visual en las exposiciones.
- Transmisión del mensaje con mayor claridad.
- Mejor venta del producto.

Todas estas ventajas hacen que la utilización del software sea sencilla y rápida, lo que conlleva un menor gasto de tiempo que se traduce en un ahorro de dinero. Además el entorno 3D de trabajo facilita la comprensión y genera un gran impacto visual.

Por tanto, como conclusión final en cuanto a la eficacia e idoneidad del empleo del software AutoCAD Civil 3D en este tipo de proyectos, teniendo en cuenta que su aplicación mayoritaria se centra en la realización de infraestrucutras civiles de tipo lineal, es muy positiva y recomendable.

ANEXO 1

Cubicación de tierras de la celda de vertido, rampa de acceso al fondo del vertedero y balsas de decantación:

P.K.	Área de desmonte (m^2)	Volumen de desmonte (m^3)	Área de terraplén (m^2)	Volumen de terraplén (m^3)	Vol. desmonte acumul. (m^3)	Vol. terraplén acumul. (m^3)	Vol. neto acumul. (m^3)
0+000.000	0.62	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00
0+010.000	29.36	149.91	69.78	359.40	149.91	359.40	-209.49
0+020.000	131.88	806.21	12.95	413.64	956.12	773.04	183.08
0+030.000	211.39	1716.33	0.00	64.73	2672.46	837.77	1834.69
0+040.000	215.02	2132.06	0.00	0.00	4804.52	837.77	3966.74
0+050.000	193.92	2044.74	0.25	1.24	6849.25	839.01	6010.25
0+060.000	136.38	1651.53	7.00	36.25	8500.78	875.26	7625.53
0+070.000	85.21	1107.96	25.22	161.11	9608.74	1036.37	8572.38
0+080.000	72.32	787.65	41.40	333.11	10396.39	1369.47	9026.92
0+090.000	67.03	696.77	74.34	578.71	11093.16	1948.19	9144.98
0+100.000	84.38	757.07	82.26	783.03	11850.23	2731.21	9119.02
0+110.000	93.91	891.47	89.01	856.35	12741.70	3587.56	9154.14
0+120.000	61.53	777.23	102.63	958.20	13518.94	4545.76	8973.18
0+130.000	28.59	450.59	147.50	1250.66	13969.53	5796.42	8173.11
0+140.000	2.28	154.35	304.89	2261.96	14123.88	8058.38	6065.50
0+150.000	0.00	11.42	426.35	3656.21	14135.30	11714.59	2420.71
0+160.000	18.26	91.32	150.43	2883.89	14226.62	14598.48	-371.86
0+170.000	10.68	144.72	134.48	1424.56	14371.34	16023.04	-1651.70
0+180.000	0.00	53.41	191.08	1627.82	14424.74	17650.85	-3226.11
0+190.000	0.00	0.00	101.18	1461.32	14424.74	19112.17	-4687.43
0+193.744	0.00	0.00	1.08	191.44	14424.74	19303.61	-4878.87

Se obtiene por tanto un volumen neto de 4878.78 m^3 de terraplén, este resultado no es exacto pues para el cálculo del volumen de tierras se han realizado perfiles cada 10 metros. Para mejorar la precisión habría que dismunir la frecuencia de los perfiles.

Ver *Plano 5.1, 5.2 y 5.3: Movimiento de tierras vertedero: Perfiles*.

La 'Herramienta de volumen de explanación' de AutoCAD Civil 3D proporciona los movimientos de tierra exactos, que se calcularon anteriormente y son los siguientes:

Explanación	**Vol. desmonte acumul. (m^3)**	**Vol. terraplén acumul. (m^3)**	**Vol. neto acumul. (m^3)**
Vaso	14997.63	14589.31	408.32
Rampa	0.02	529.73	-529.70
Balsas	294.55	5276.84	-4982.29
Total	15292.20	20395.88	5103.67

Por tanto hay una diferencia de aproximadamente 224.89 m^3 entre un método de cálculo y el otro, lo que equivale a un error del:

$$E = \frac{|V_r - V_a|}{V_r} = \frac{5103.67 - 4878{,}78}{5103.67} = 4.4\%$$

ANEXO 2

Cubicación de tierras del camino de acceso principal:

P.K.	Área de desmonte (m^2)	Volumen de desmonte (m^3)	Área de terraplén (m^2)	Volumen de terraplén (m^3)	Vol. desmonte acumul. (m^3)	Vol. terraplén acumul. (m^3)	Vol. neto acumul. (m^3)
0+000.000	0.10	0.00	2.33	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.000	32.54	330.36	0.00	23.95	330.36	23.95	306.41
0+040.000	43.51	768.96	0.00	0.00	1099.32	23.95	1075.36
0+060.000	28.50	729.80	0.00	0.00	1829.12	23.95	1805.17
0+080.000	8.14	372.51	0.00	0.00	2201.62	23.95	2177.67
0+100.000	9.36	175.05	0.00	0.00	2376.68	23.95	2352.73
0+120.000	12.10	214.59	0.00	0.00	2591.27	23.95	2567.31
0+140.000	15.06	271.57	0.00	0.00	2862.84	23.95	2838.89
0+160.000	17.50	325.62	0.00	0.00	3188.46	23.95	3164.51
0+180.000	25.74	439.79	0.00	0.00	3628.25	23.95	3604.30
0+200.000	4.60	305.91	0.00	0.00	3934.16	23.95	3910.21
0+220.000	6.23	108.77	0.00	0.00	4042.94	23.95	4018.98
0+240.000	1.74	80.79	0.72	6.89	4123.72	30.85	4092.88
0+260.000	4.74	66.20	7.83	82.32	4189.92	113.16	4076.76
0+280.000	0.23	49.66	16.66	244.84	4239.58	358.01	3881.57
0+300.000	0.00	2.28	14.21	308.62	4241.87	666.63	3575.23
0+320.000	0.98	9.76	0.00	142.06	4251.63	808.70	3442.93
0+340.000	1.81	27.88	0.00	0.00	4279.50	808.70	3470.81
0+360.000	0.00	18.06	1.30	12.96	4297.57	821.65	3475.92
0+380.000	0.00	0.00	1.32	26.13	4297.57	847.79	3449.78
0+400.000	0.20	2.05	0.42	17.37	4299.62	865.16	3434.46
0+420.000	0.36	5.73	0.25	6.67	4305.35	871.82	3433.53

0+440.000	0.17	5.38	0.51	7.56	4310.73	879.38	3431.35
0+460.000	0.00	1.70	1.08	15.79	4312.43	895.17	3417.26
0+480.000	0.00	0.00	2.40	34.57	4312.43	929.74	3382.69
0+500.000	0.00	0.00	3.99	63.75	4312.43	993.49	3318.94
0+520.000	0.00	0.00	4.20	81.91	4312.43	1075.40	3237.03
0+540.000	0.00	0.00	3.01	72.11	4312.43	1147.51	3164.91
0+560.000	0.00	0.00	2.39	54.02	4312.43	1201.54	3110.89
0+580.000	0.08	0.82	0.69	30.79	4313.25	1232.32	3080.92
0+600.000	1.18	12.65	0.13	8.16	4325.89	1240.49	3085.40
0+620.000	0.51	16.93	0.00	1.25	4342.82	1241.74	3101.08
0+640.000	0.94	14.52	0.00	0.00	4357.34	1241.74	3115.60
0+660.000	0.31	12.48	0.00	0.00	4369.83	1241.74	3128.08
0+680.000	0.62	9.26	0.00	0.00	4379.09	1241.74	3137.34
0+700.000	0.32	9.37	0.00	0.05	4388.46	1241.79	3146.67
0+720.000	0.46	7.76	0.00	0.05	4396.22	1241.84	3154.37
0+740.000	0.50	9.62	0.00	0.00	4405.84	1241.85	3163.99
0+760.000	0.33	8.35	0.00	0.05	4414.18	1241.90	3172.28
0+780.000	0.57	8.97	0.00	0.05	4423.15	1241.95	3181.21
0+800.000	0.27	8.35	0.33	3.31	4431.50	1245.25	3186.25
0+820.000	1.98	22.52	0.00	3.30	4454.02	1248.56	3205.47
0+840.000	5.49	74.76	0.00	0.00	4528.79	1248.56	3280.23
0+860.000	10.35	158.44	0.00	0.00	4687.23	1248.56	3438.68
0+880.000	16.28	266.28	0.00	0.00	4953.51	1248.56	3704.96
0+900.000	10.87	270.68	0.00	0.00	5224.19	1248.56	3975.63
0+920.000	1.61	124.03	5.52	55.63	5348.23	1304.19	4044.04
0+940.000	3.95	55.13	4.37	99.56	5403.36	1403.75	3999.61
0+960.000	7.00	107.66	2.17	66.34	5511.02	1470.09	4040.93
0+980.000	6.19	130.15	1.74	39.54	5641.16	1509.63	4131.54

1+000.000	1.93	85.56	4.50	59.87	5726.72	1569.50	4157.23
1+020.000	6.05	85.35	3.86	80.25	5812.07	1649.74	4162.33
1+040.000	9.13	151.76	2.97	68.30	5963.83	1718.04	4245.79
1+048.036	15.22	97.82	0.88	15.45	6061.65	1733.49	4328.16

Ver *Plano 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4: Movimiento de tierras camino principal: Perfiles transversales*.

ANEXO 3

Cubicación de tierras del camino de acceso secundario:

P.K.	Área de desmonte (m^2)	Volumen de desmonte (m^3)	Área de terraplén (m^2)	Volumen de terraplén (m^3)	Vol. desmonte acumul. (m^3)	Vol. terraplén acumul. (m^3)	Vol. neto acumul. (m^3)
0+000.000	1.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.000	26.39	284.74	0.00	0.00	284.74	0.00	284.74
0+040.000	5.74	324.16	0.00	0.00	608.90	0.00	608.90
0+060.000	5.58	113.89	0.00	0.00	722.79	0.00	722.79
0+080.000	9.85	154.40	0.00	0.00	877.19	0.00	877.19
0+100.000	7.02	169.28	0.00	0.00	1046.46	0.00	1046.46
0+120.000	4.65	117.57	0.00	0.00	1164.03	0.00	1164.03
0+133.492	0.42	34.53	0.18	1.19	1198.57	1.19	1197.37

Ver *Plano 8: Movimiento de tierras camino secundario: Perfiles transversales*.

BIBLIOGRAFÍA

Amengual, L. (2014). *Vertederos con vertidos reconvertidos*. Obtenido de https://www.diariodemallorca.es/medio-ambiente/2014/01/02/vertederos-vertidos-reconvertidos-ii/900619.html

Asociación Técnica para la Gestión de Residuos, Aseo Urbano y Medioambiente. (2010). *Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos.*

Autodesk. (2016). *Mastering AutoCAD Civil 3D 2016.*

Autodesk. (s.f.). *AutoCAD Civil 3D Help*. Obtenido de http://docs.autodesk.com/CIV3D/2014/ESP/index.html

Autodesk. (s.f.). *Autodesk Knowlege Network*. Obtenido de https://knowledge.autodesk.com

Carnicero, L. (2018). *Concluyen las obras de sellado del vertedero comarcal del Somontano*. Obtenido de https://www.radiohuesca.com/comarcas/concluyen-las-obras-de-sellado-del-vertedero-comarcal-del-somontano-27112018-117626.html

Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio. (2018). Decreto 83/2018, de 26 de julio, por el que se aprueba el Plan básico autonómico de Galicia.

Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio. (s.f.). *Sistema de Información do Territorio e Urbanismo de Galicia*. Obtenido de http://www.planeamentourbanistico.xunta.es/siotuga/inicio.php

Del Vinalopó. (s.f.). *Vertederos.* Obtenido de https://delvinalopo.es/servicios/vertederos

Garanto, J. F. (2011). *Proyecto de construcción de la variante de la carretera HU-V-9601. Tramo: Los Castellazos-Barranco de Espluga*.

Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). *Centro Nacional de Información Geográfica*. Obtenido de Centro de Descargas: http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp

Instituto Geológico y Minero de España. (s.f.). *Cartografía del IGME*. Obtenido de http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx?language=es

Instituto Nacional de Estadística. (s.f.). *Instituto Nacional de Estadística.* Obtenido de https://www.ine.es/daco/daco42/bme/c19.pdf

J.Almorox. (s.f.). *Métodos de estimación de las evapotranspiraciones ETP y ETr.*

Jefatura del Estado. (2015). Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras.

Junta de Andalucía. (2014). Proyecto para el Sellado del vertedero de R.S.U. de El Cornejil de Lebrija. Sevilla.

López, J. S. (2017). Apuntes Ingeniería Ambiental. Universidad de Coruña.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2013). Orden AAA/661/2013, de 18 de abril, por la que se modifican los anexos I, II y III del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Ministerio de Fomento. (1999). *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular.*

Ministerio de Fomento. (2003). Norma 6.1-IC. Secciones de firme (Orden FOM 3460/2003).

Ministerio de Fomento. (2016). Norma 3.1-IC. Trazado (Orden FOM/273/2016 de 19 de febrero de 2016).

Ministerio de Fomento. (2016). Norma 5.2-IC. Drenaje Superficial (Orden FOM/298/2016 de 15 de febrero).

Ministerio de Medio Ambiente. (2002). Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Sosa, G. C. (2018). Apuntes Abastecimiento, Saneamiento y Gestión de Reisduos. Universidad de Sevilla.

Vielca Ingenieros. (2013). *Inauguración de la instalación de residuos y vertedero de rechazos de Caudete de las Fuentes*. Obtenido de http://www.vielca.com/web/pages/actualidad/130605-Inauguracion-caudete.php

Xunta de Galicia. (2007). Proyecto constructivo de apertura de un depósito de residuos no peligrosos en Valdeorras. Ourense.

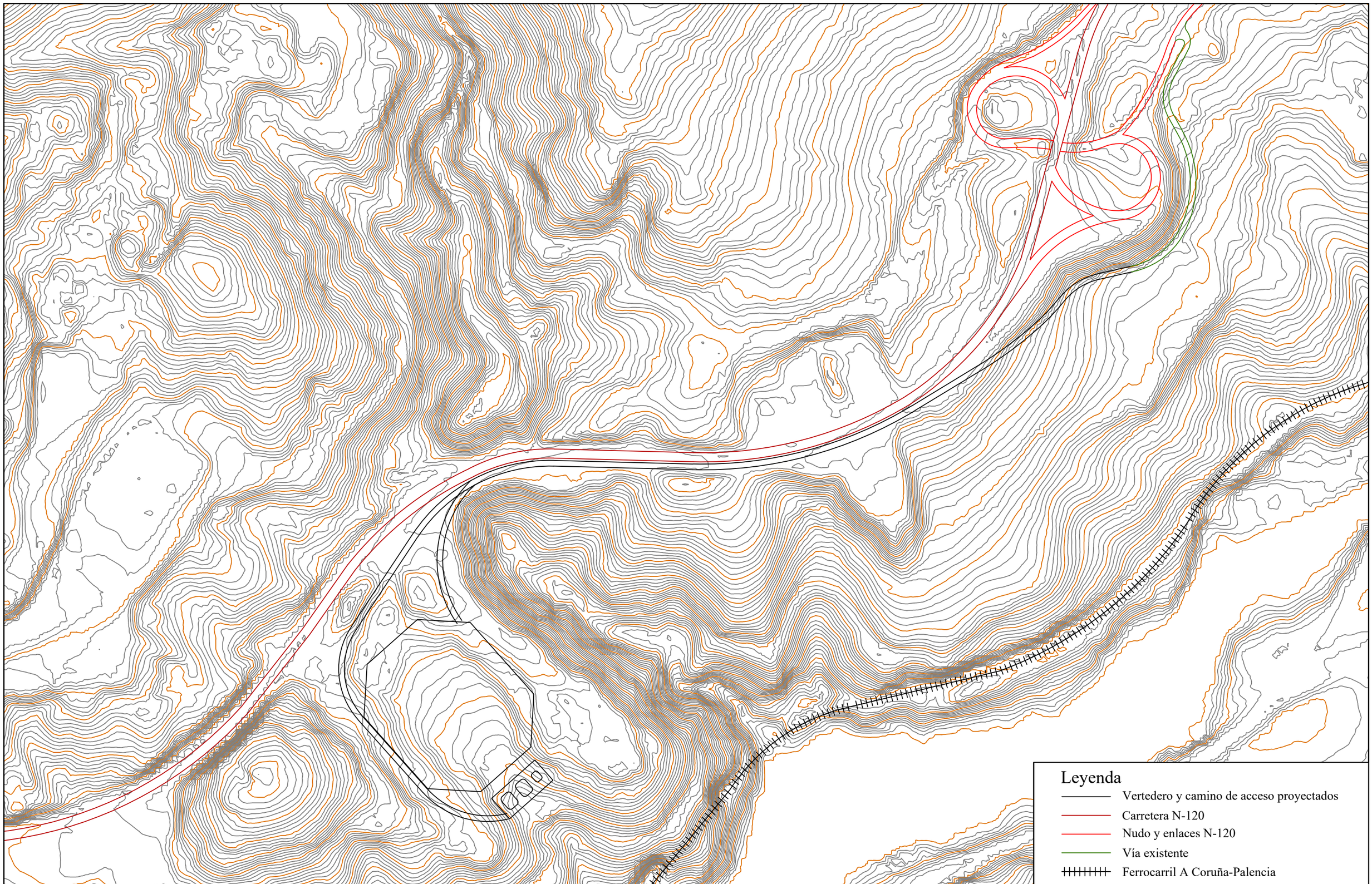
Xunta de Galicia. (s.f.). *Insituto Xeográfico de Galicia.* Obtenido de Descargas: http://mapas.xunta.gal/visores/descargas/

Youtube. (2013). *Crear alineamiento y perfil en AutoCAD Civil 3D*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=JYsA0_kRDDA&t=278s

Youtube. (2017). *Civil 3D 2017 - Gradings-Rampas*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=PDIq3MzNGEE&t=447s

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Situación	Nº de plano: 01	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez
		Escala: 1/800.000		Fecha: Noviembre 2019

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Emplazamiento Escala: 1/4.000	Nº de plano: 02	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019



Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Título:
Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)

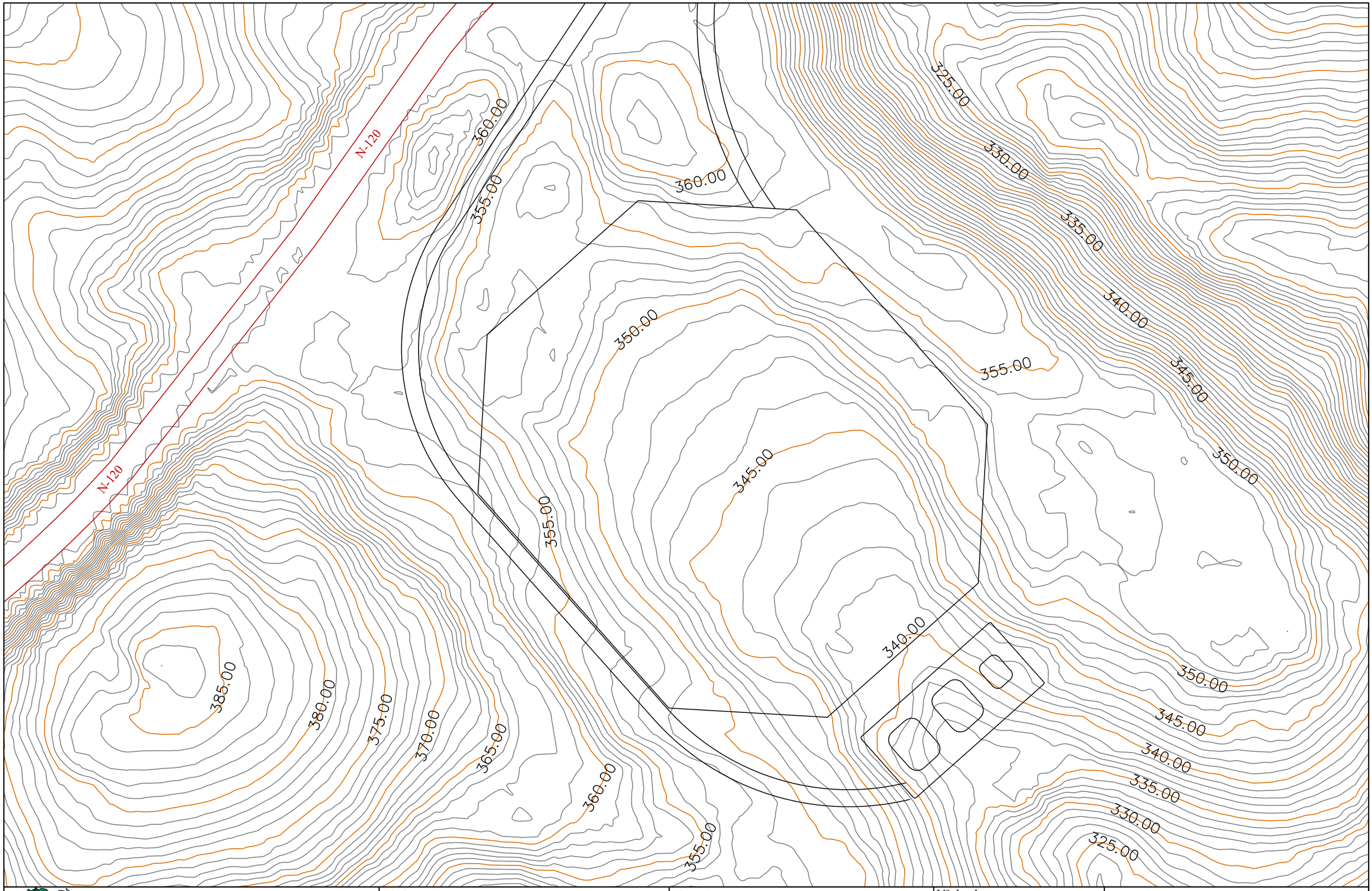
Plano de:
Topografía: Estado previo planta general

Escala:
1/3.000

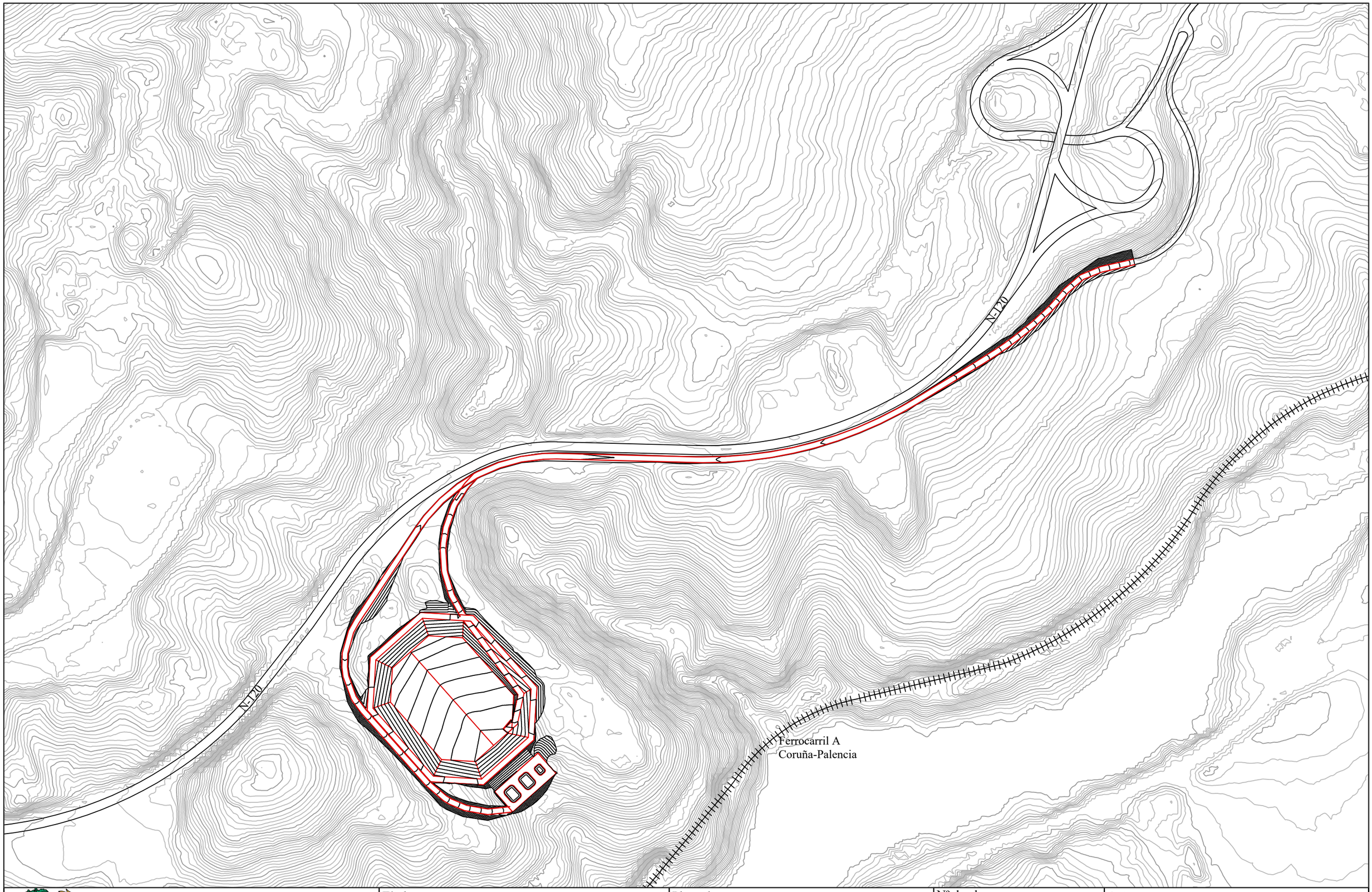
Nº de plano:
3.1

Autor:
Víctor Manuel Yáñez Pérez

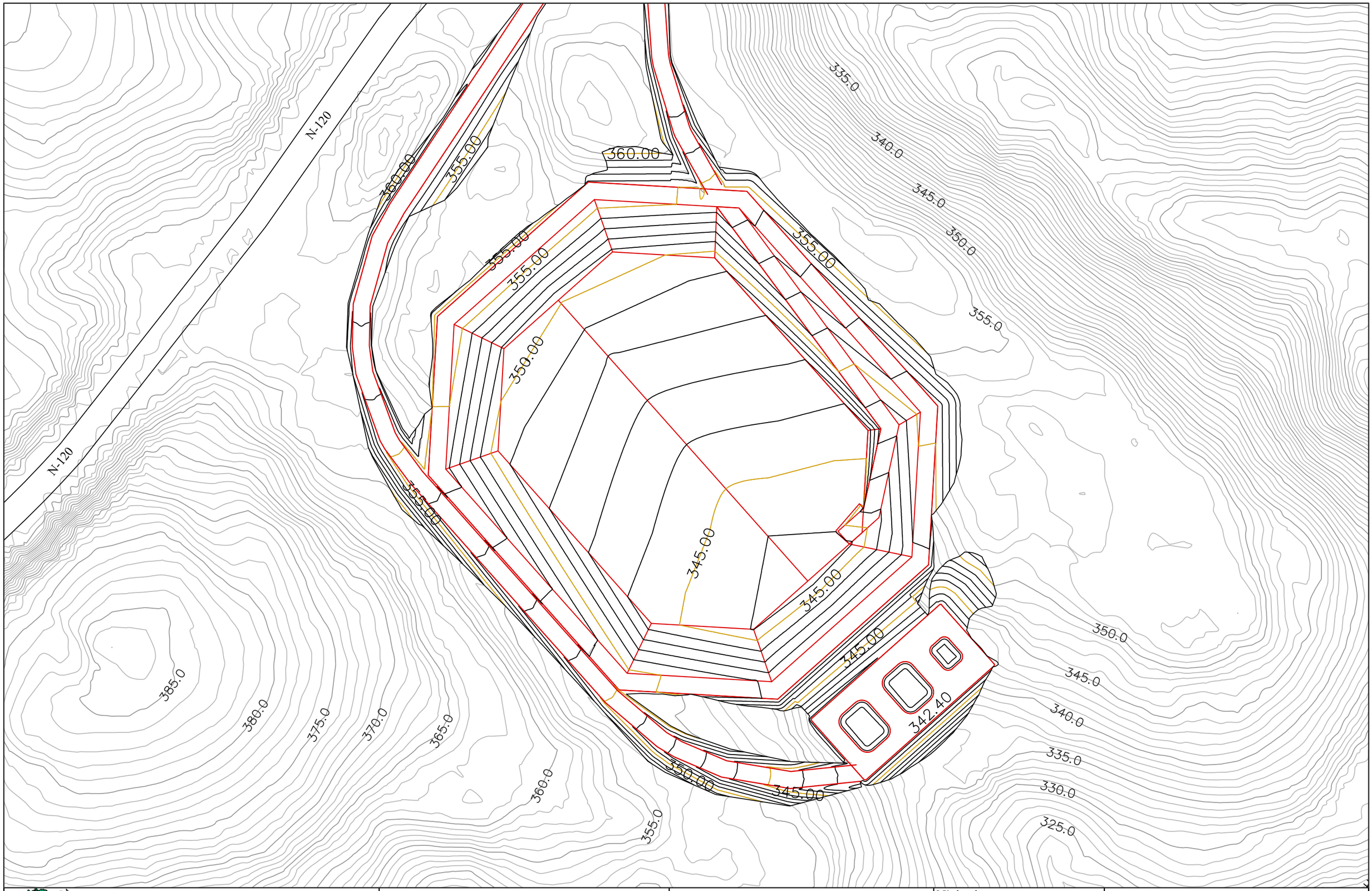
Fecha:
Noviembre 2019



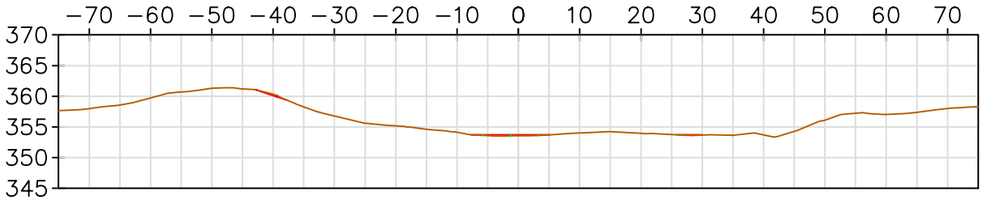
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Topografía: Estado previo vertedero Escala: 1/1.000	Nº de plano: 3.2	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019



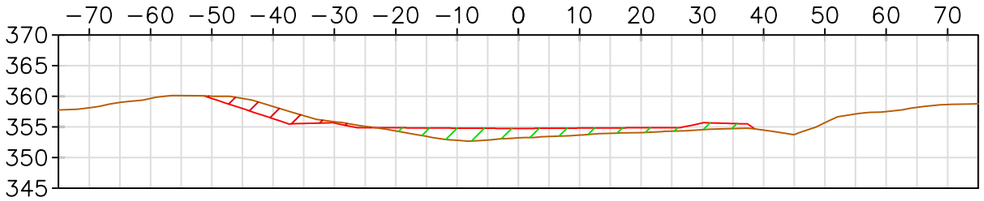
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Planta general Escala: 1/3.000	Nº de plano: 4.1	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019



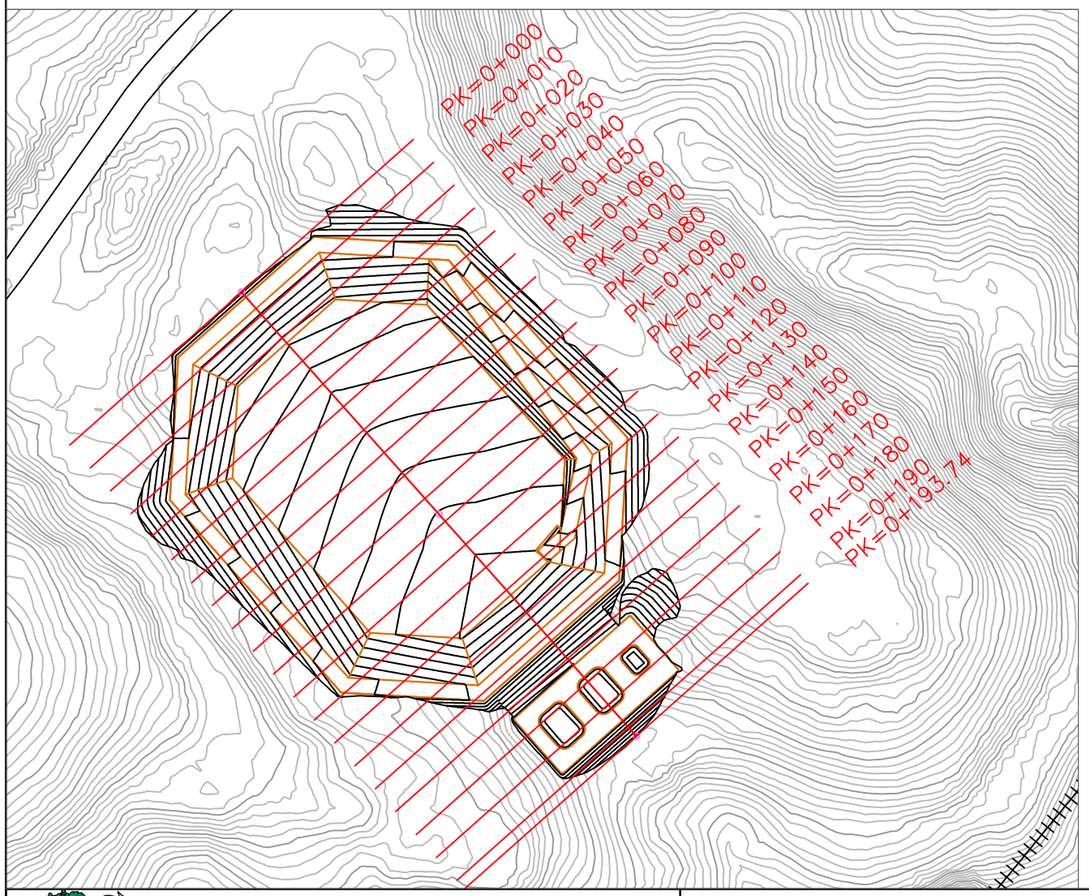
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Planta vertedero Escala: 1/1.000	Nº de plano: 4.2	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019

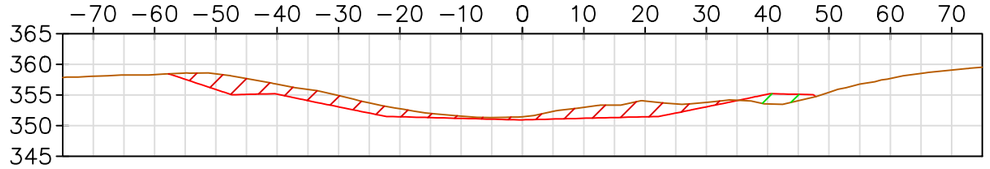


P.K.=0+000

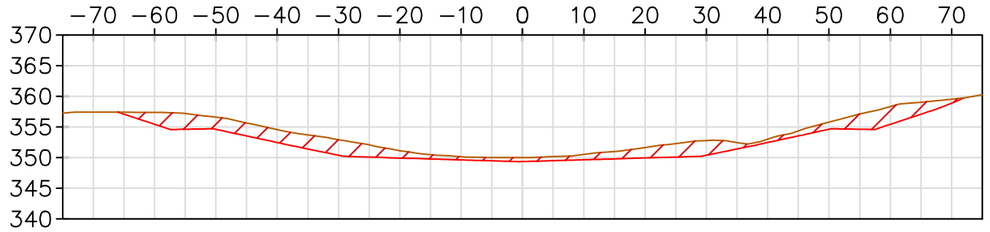


P.K.=0+010

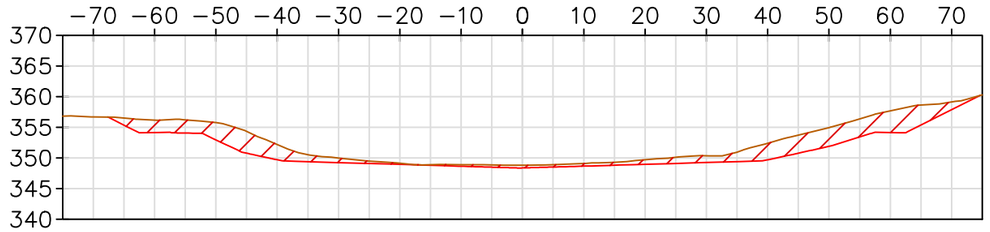




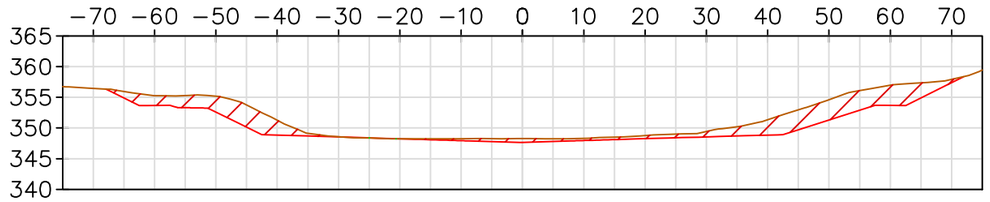
P.K.=0+020



P.K.=0+030



P.K.=0+040

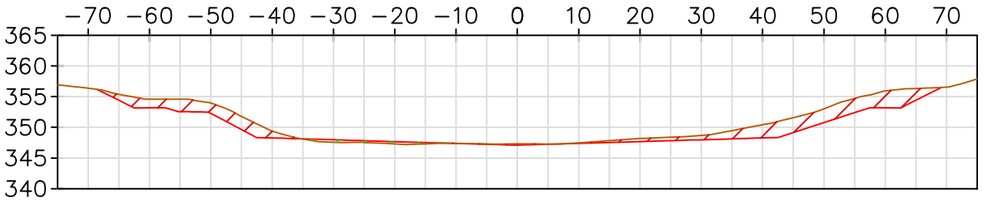


P.K.=0+050

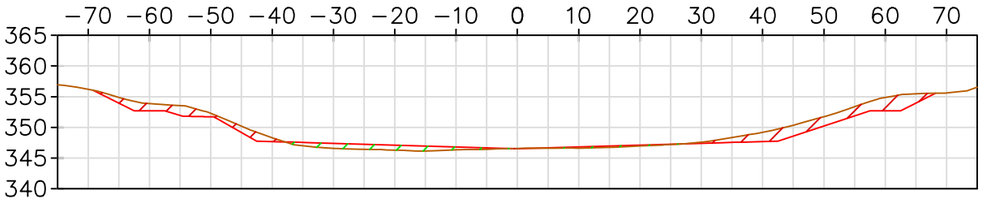
Leyenda

- Terreno origen
- Proyecto
- Desmonte
- Terraplén

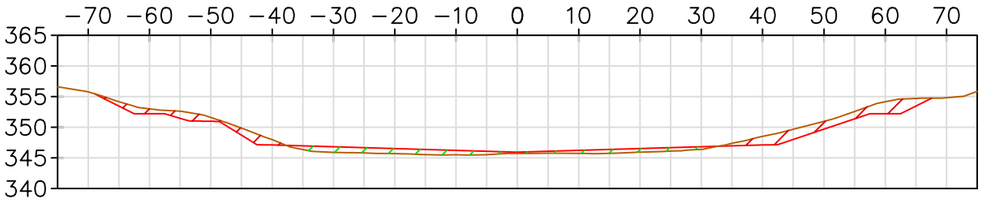
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Movimiento de tierras vertedero: Perfiles	Nº de plano: 5.1	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez
		Escala: Perfiles:1/1.000 Planta:1/2.000		Fecha: Noviembre 2019



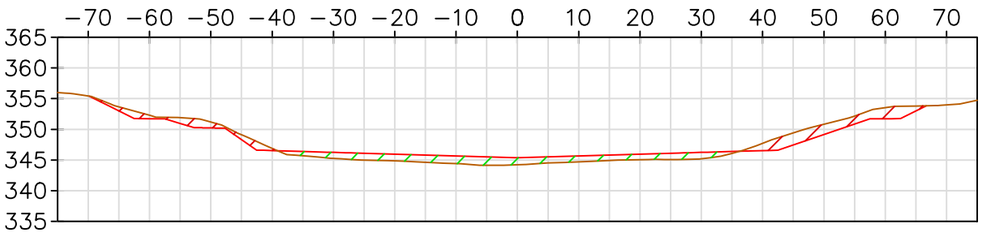
P.K.=0+060



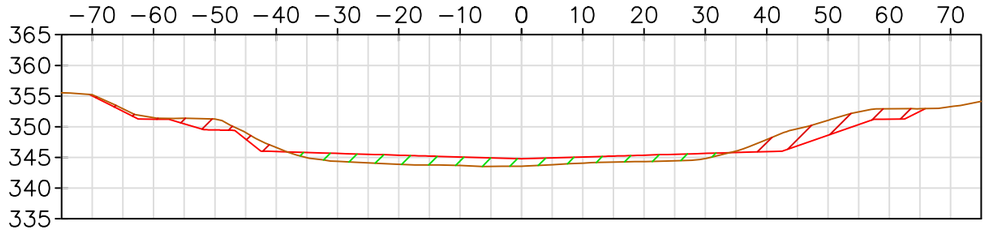
P.K.=0+070



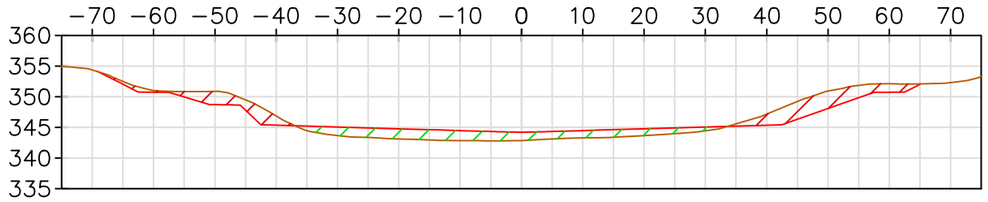
P.K.=0+080



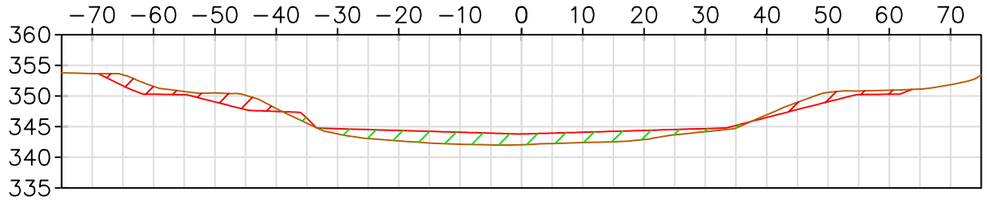
P.K.=0+090



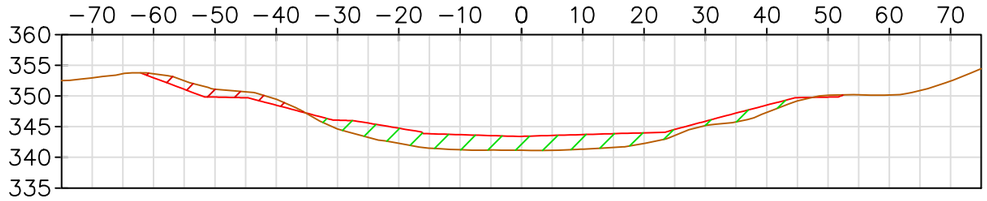
P.K.=0+100



P.K.=0+110



P.K.=0+120

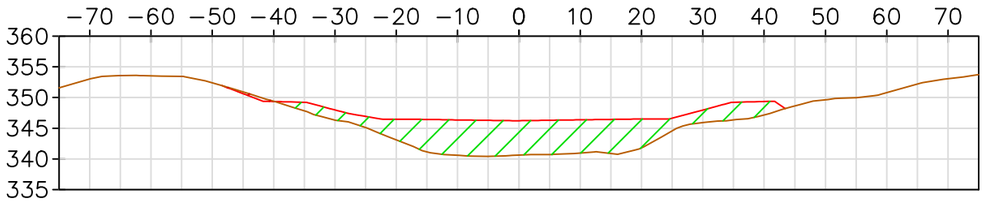


P.K.=0+130

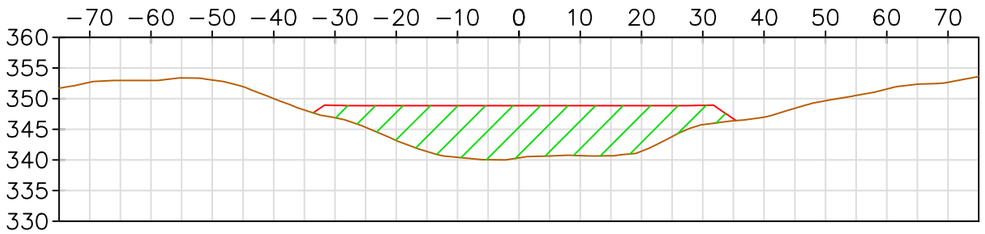
Leyenda

- Terreno origen
- Proyecto
- Desmonte
- Terraplén

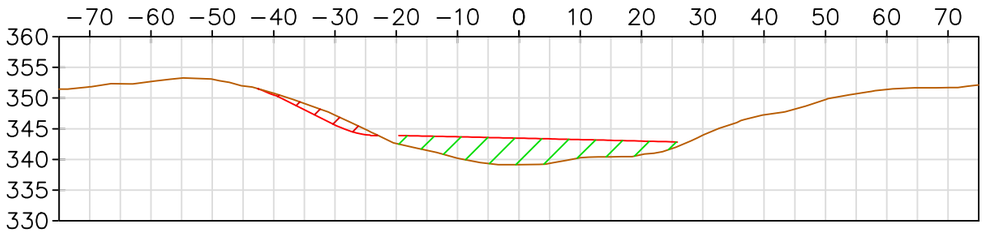
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Movimiento de tierras vertedero: Perfiles	Nº de plano: 5.2	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez
		Escala: 1/1.000		Fecha: Noviembre 2019



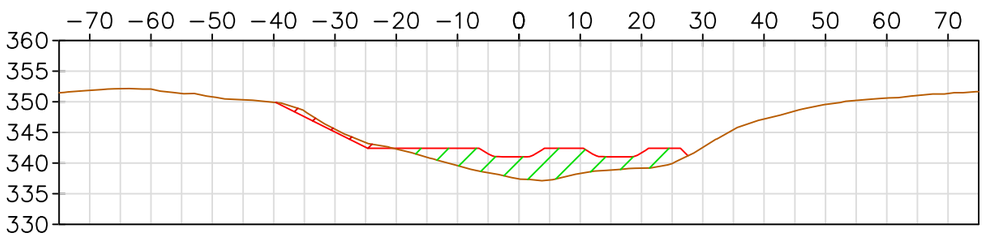
P.K.=0+140



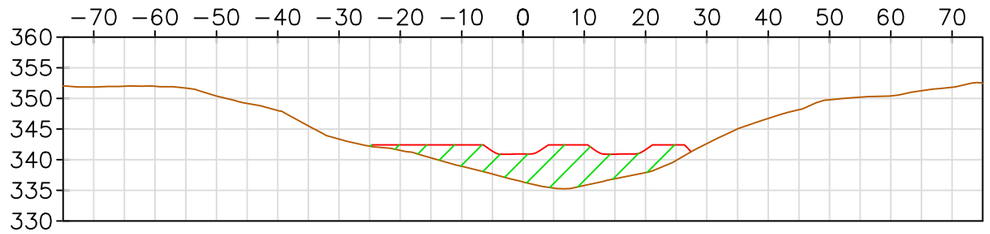
P.K.=0+150



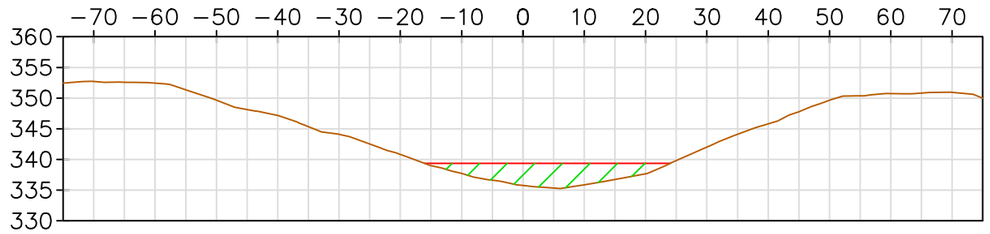
P.K.=0+160



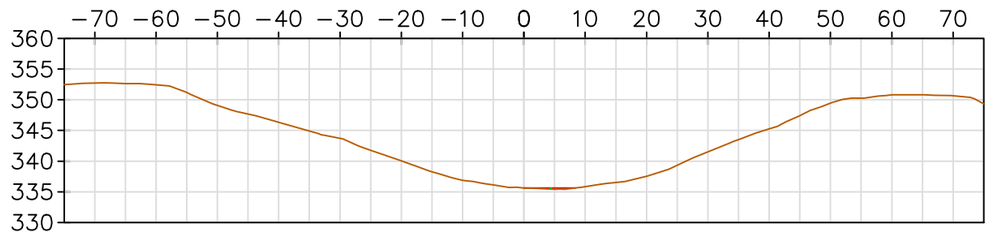
P.K.=0+170



P.K.=0+180



P.K.=0+190

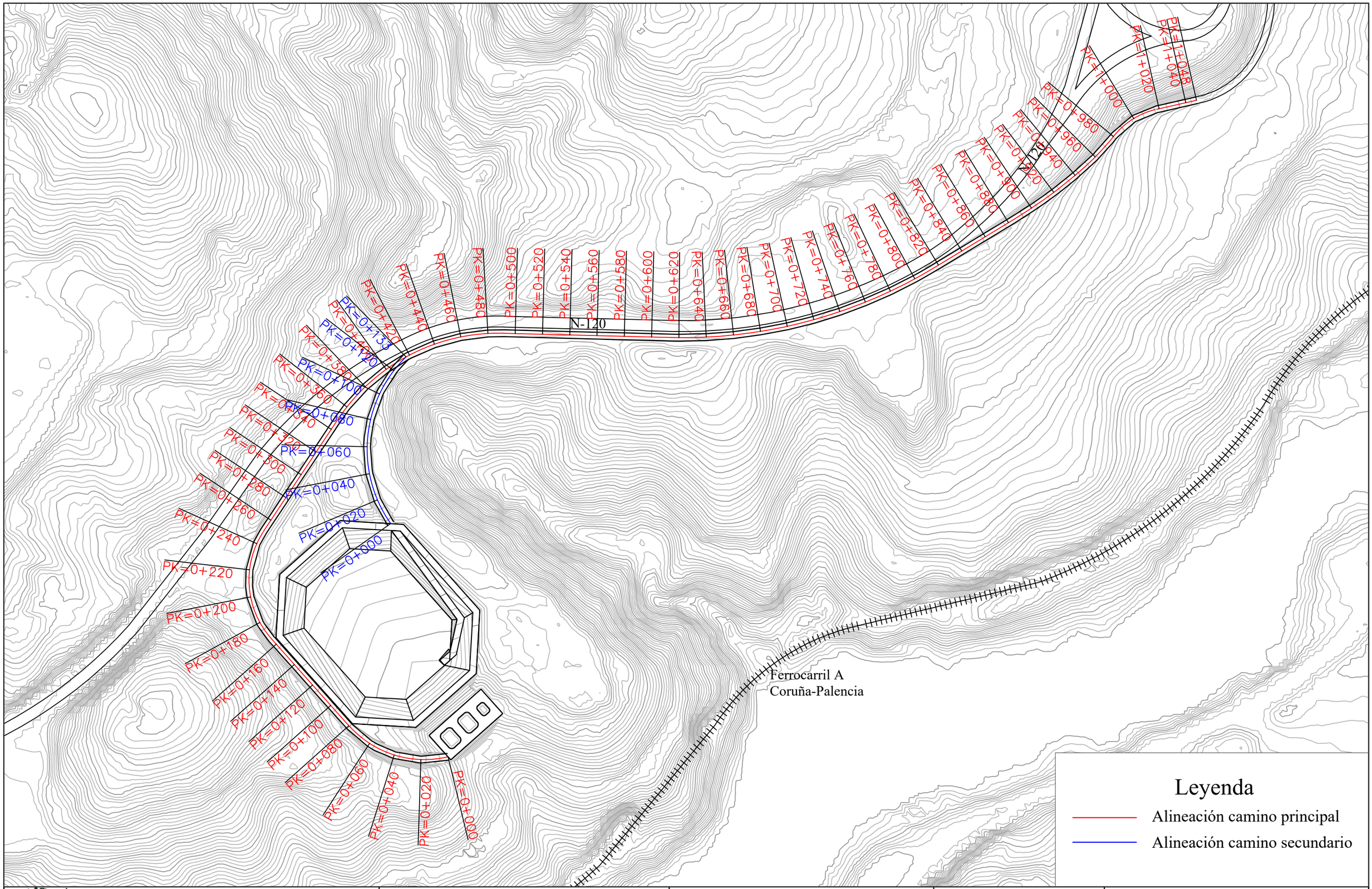


P.K.=0+193,74

Leyenda

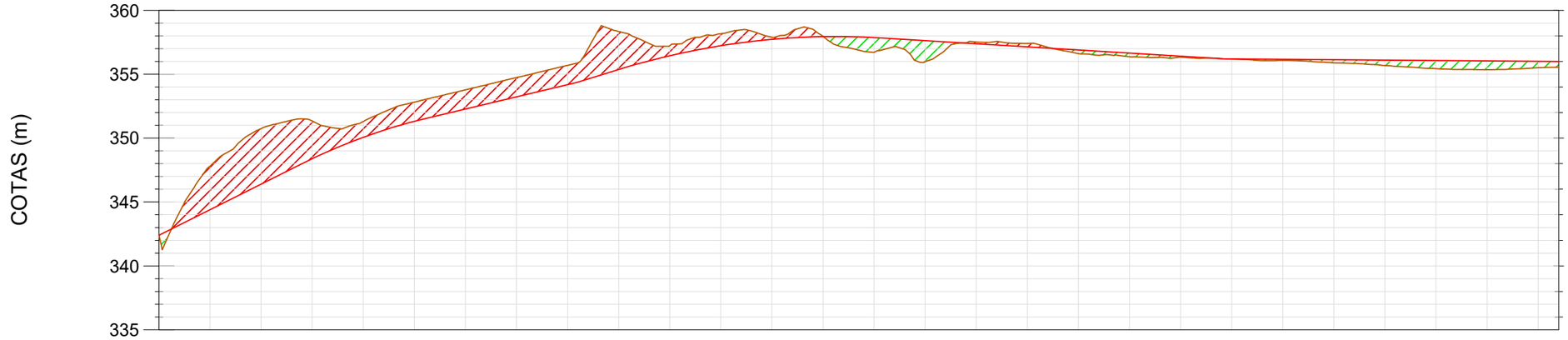
- Terreno origen
- Proyecto
- Desmonte
- Terraplén

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Movimiento de tierras vertedero: Perfiles Escala: 1/1.000	Nº de plano: 5.3	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019



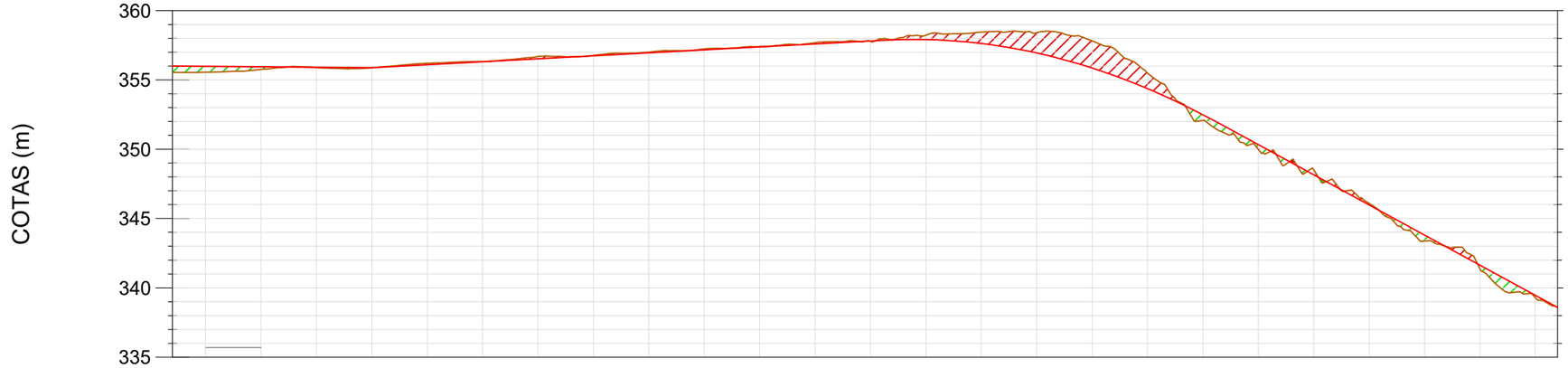
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Camino de acceso: Planta general Escala: 1/2.500	Nº de plano: 6.1	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019

Perfil Longitudinal: Alineación principal



P.K.	COTA-TERRENO	COTA-RASANTE
0+000	342.40	342.40
0+020	347.81	344.40
0+040	350.74	346.40
0+060	351.34	348.39
0+080	351.30	350.06
0+100	352.82	351.32
0+120	353.78	352.28
0+140	354.74	353.23
0+160	355.70	354.18
0+180	358.34	355.37
0+200	357.24	356.44
0+220	358.18	357.23
0+240	357.89	357.73
0+260	357.98	357.94
0+280	356.71	357.87
0+300	355.99	357.63
0+320	357.52	357.39
0+340	357.41	357.14
0+360	356.61	356.90
0+380	356.38	356.65
0+400	356.34	356.41
0+420	356.17	356.20
0+440	356.08	356.16
0+460	355.90	356.13
0+480	355.68	356.10
0+500	355.43	356.07
0+520	355.36	356.04
0+540	355.50	356.00
0+548	355.54	355.99

Perfil Longitudinal: Alineación principal



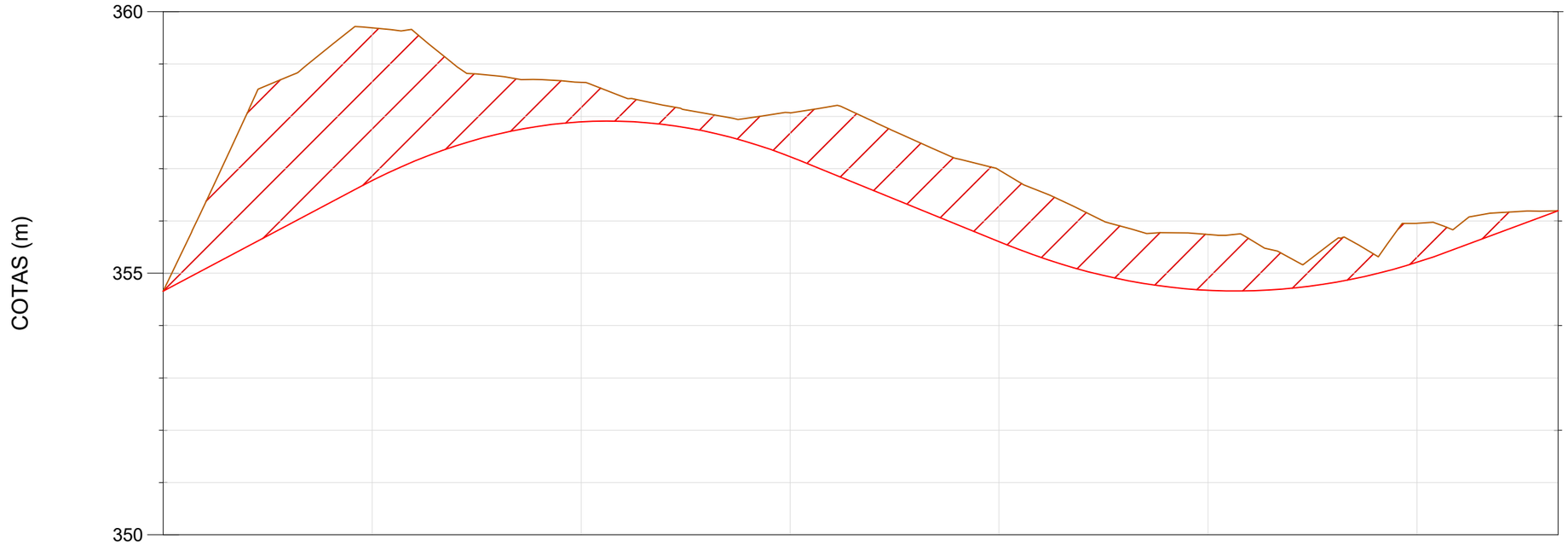
P.K.	COTA-TERRENO	COTA-RASANTE
0+548	355.54	355.99
0+560	355.55	355.97
0+580	355.76	355.94
0+600	355.88	355.91
0+620	355.87	355.88
0+640	356.19	356.09
0+660	356.32	356.30
0+680	356.67	356.52
0+700	356.77	356.73
0+720	356.99	356.95
0+740	357.23	357.16
0+760	357.41	357.38
0+780	357.68	357.59
0+800	357.78	357.80
0+820	358.22	357.91
0+840	358.45	357.62
0+860	358.41	356.94
0+880	357.81	355.86
0+900	355.48	354.37
0+920	352.07	352.49
0+940	350.00	350.33
0+960	348.50	348.15
0+980	346.09	345.98
1+000	343.38	343.81
1+020	341.35	341.64
1+040	339.29	339.46
1+048	338.59	338.59

Leyenda

- Terreno origen
- Rasante
- Terraplén
- Desmonte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Camino principal: Perfil longitudinal Escala: V:1/400 H:1/2.000	Nº de plano: 6.2	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019

Perfil Longitudinal: Alineación secundaria

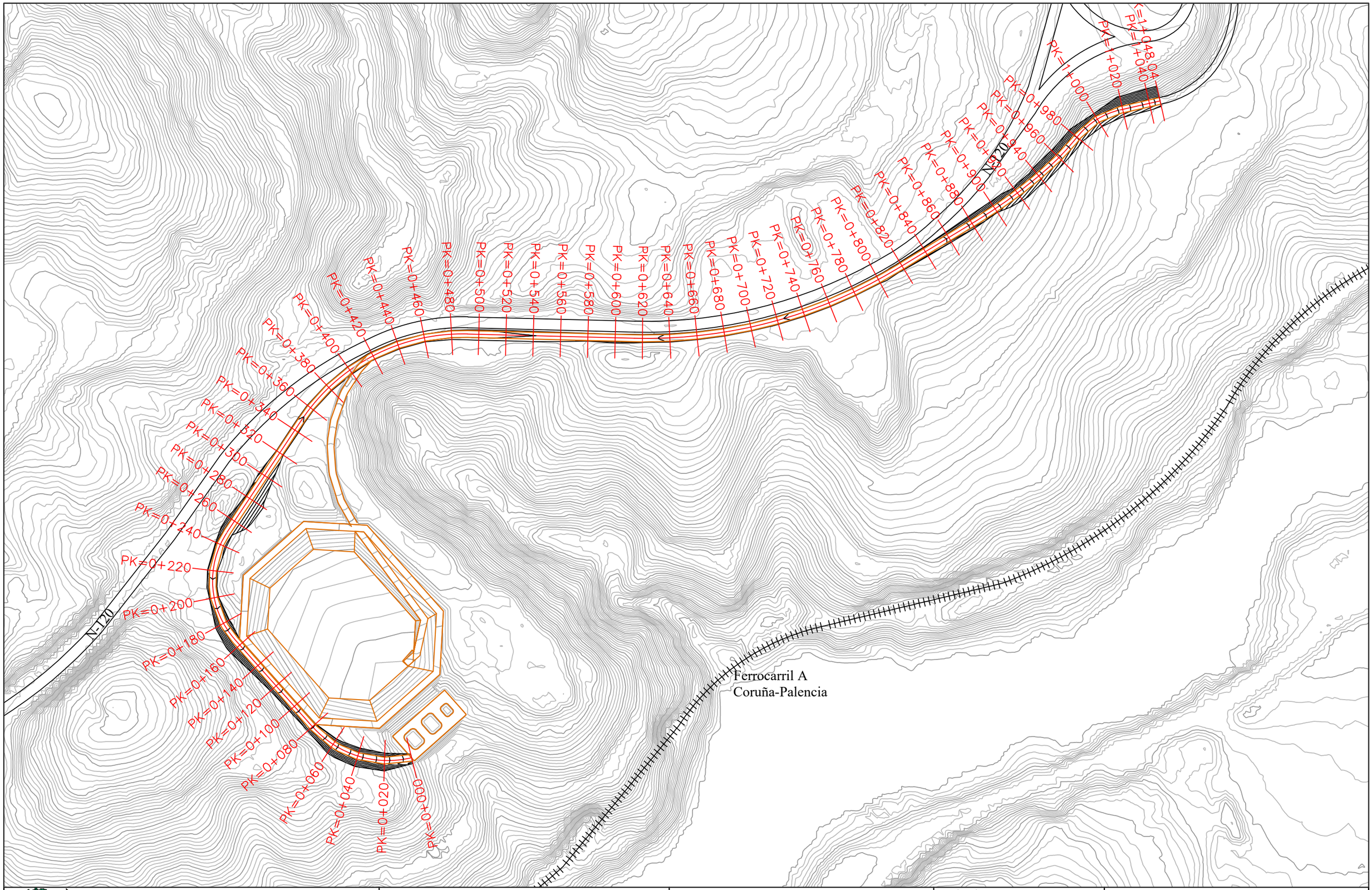


COTA-TERRENO	354.66	359.69	358.65	358.07	356.97	355.74	355.96	356.20
COTA-RASANTE	354.66	359.69	358.65	358.07	356.97	355.74	355.96	356.20
P.K.	0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100	0+120	0+133

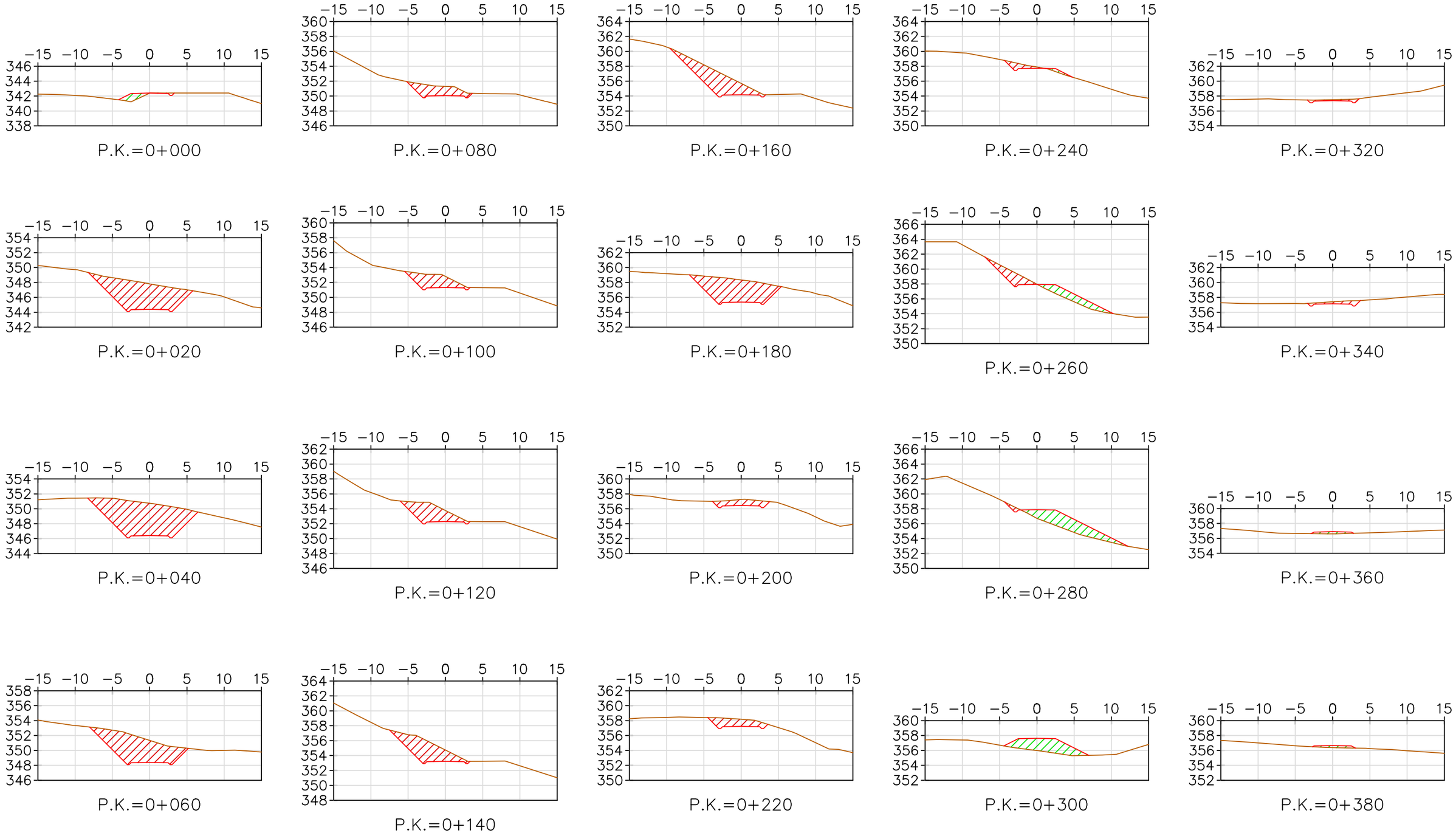
Leyenda

- Terreno origen
- Rasante
- Terraplén
- Desmonte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Camino secundario: Perfil longitudinal Escala: V:1/100 H:1/500	Nº de plano: 6.3	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019

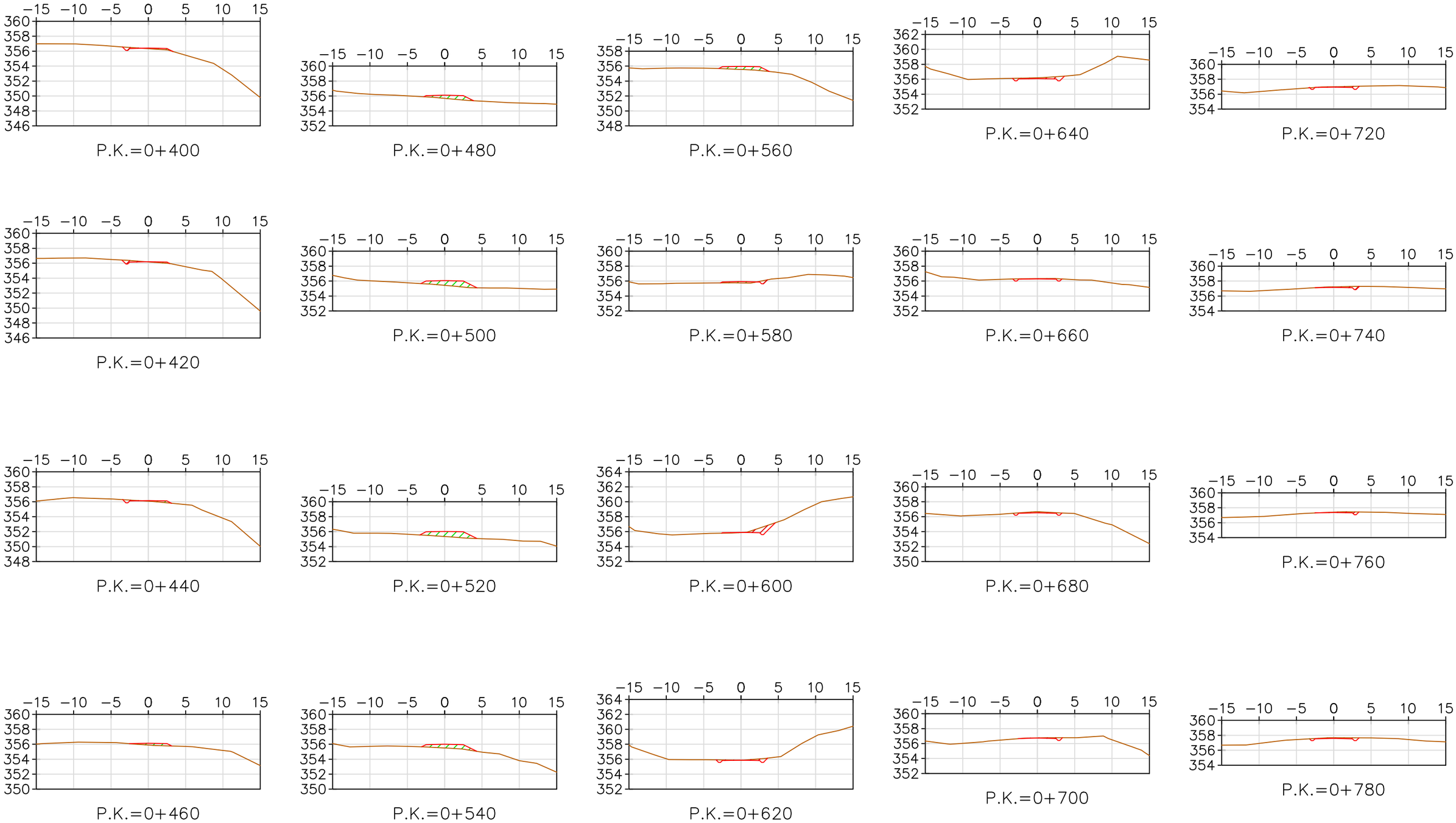


Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Movimiento de tierras camino principal: Perfiles transversales Escala: 1/2.500	Nº de plano: 7.1	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019

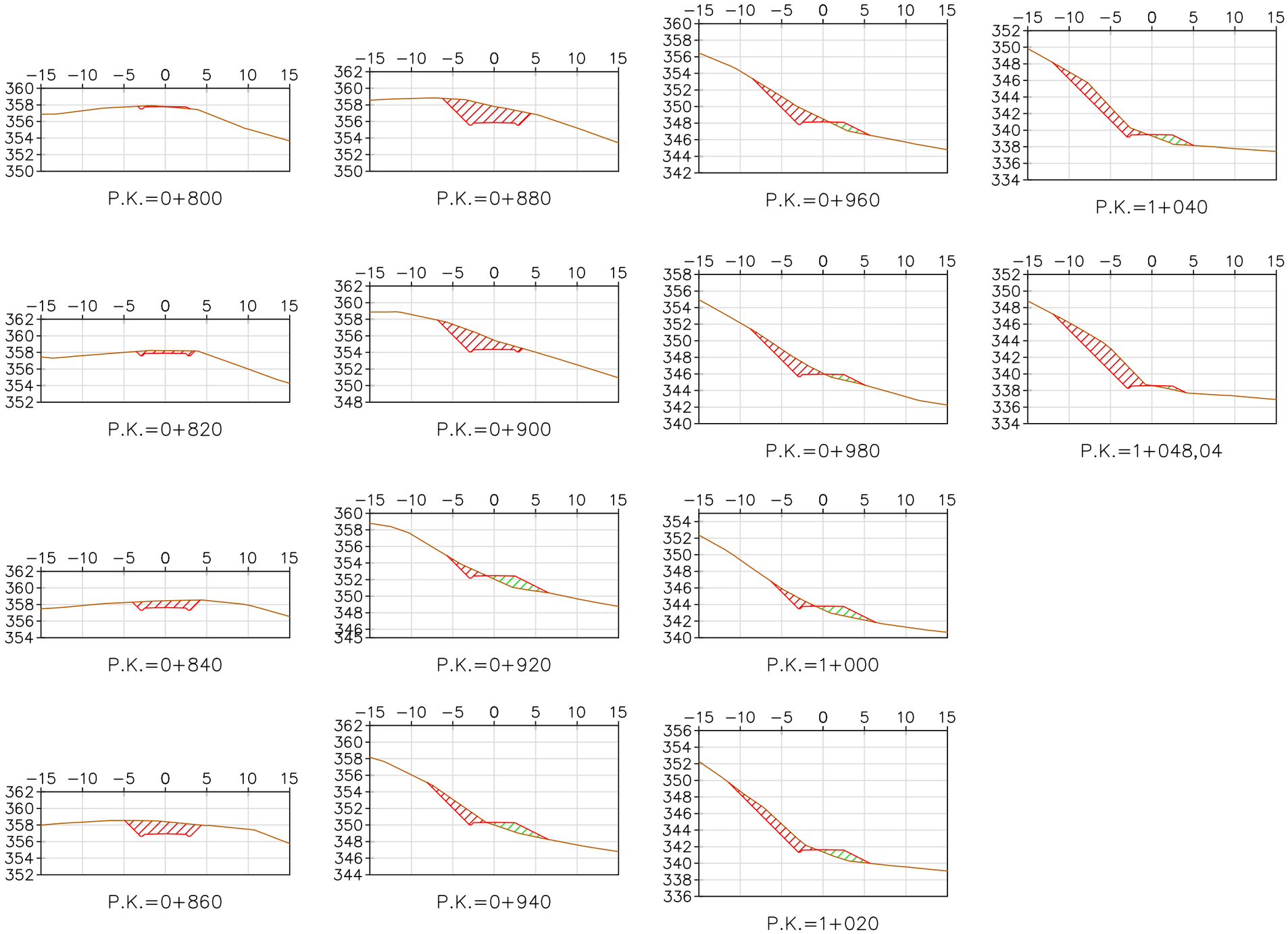


Terreno origen — Proyecto — Terraplén — Desmonte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Movimiento de tierras camino principal: Perfiles transversales Escala: 1/500	Nº de plano: 7.2	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019

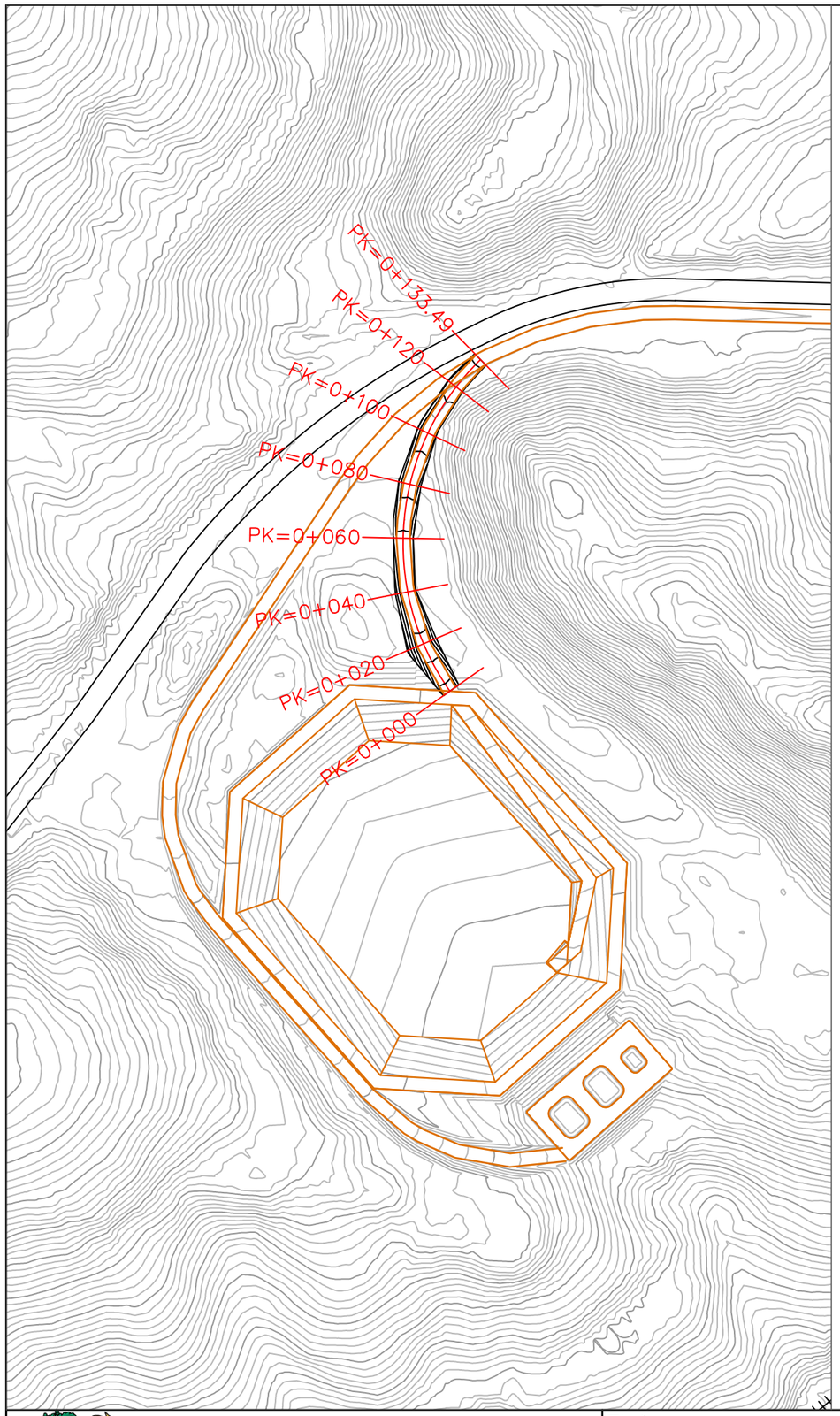


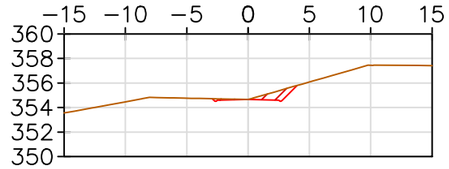
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Movimiento de tierras camino principal: Perfiles transversales Escala: 1/500	Nº de plano: 7.3	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019



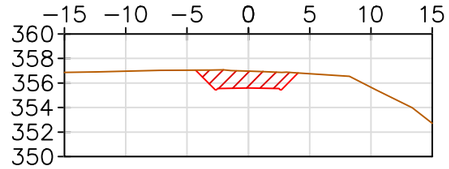
Terreno origen — Proyecto — Terraplén — Desmonte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Movimiento de tierras camino principal: Perfiles transversales Escala: Planta:1/500	Nº de plano: 7.4	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019

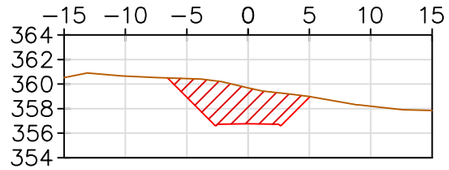




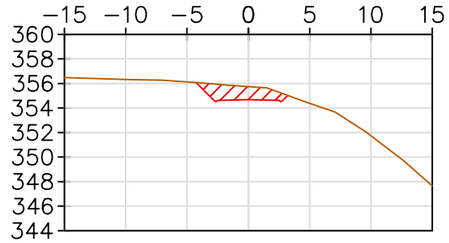
P.K.=0+000



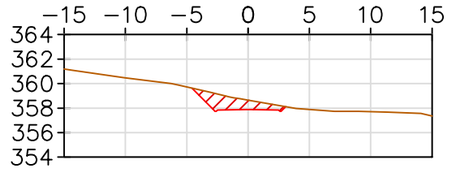
P.K.=0+080



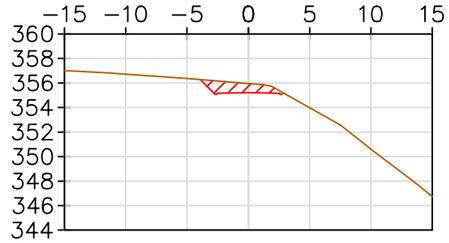
P.K.=0+020



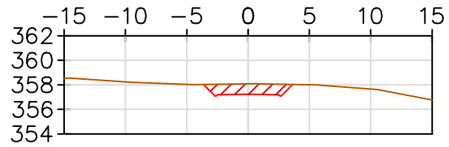
P.K.=0+100



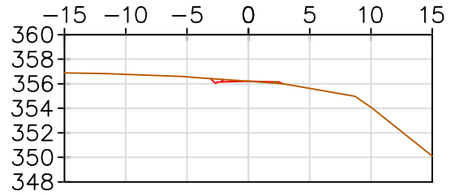
P.K.=0+040



P.K.=0+120



P.K.=0+060



P.K.=0+133,49

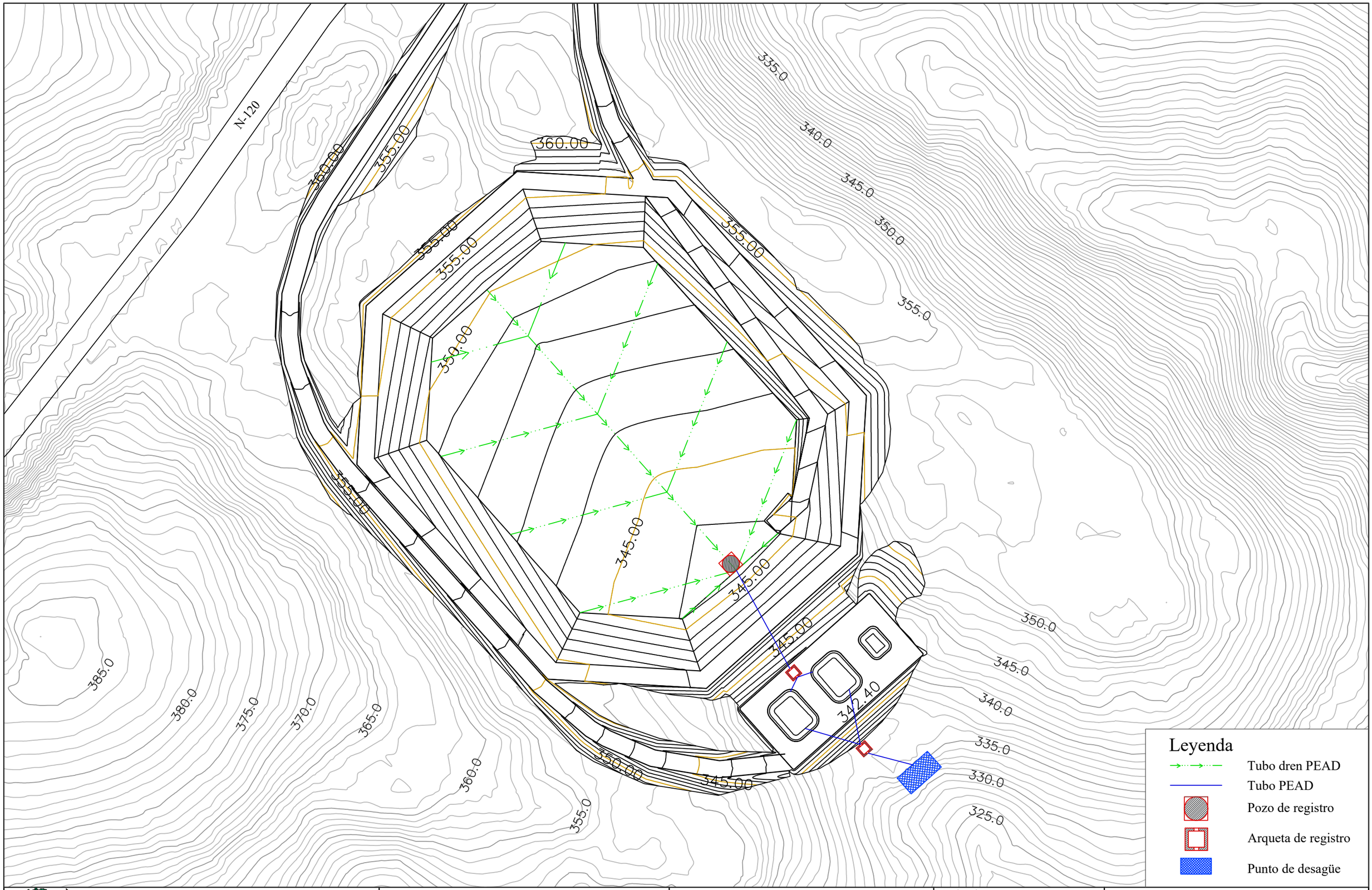
Proyecto

Terreno origen

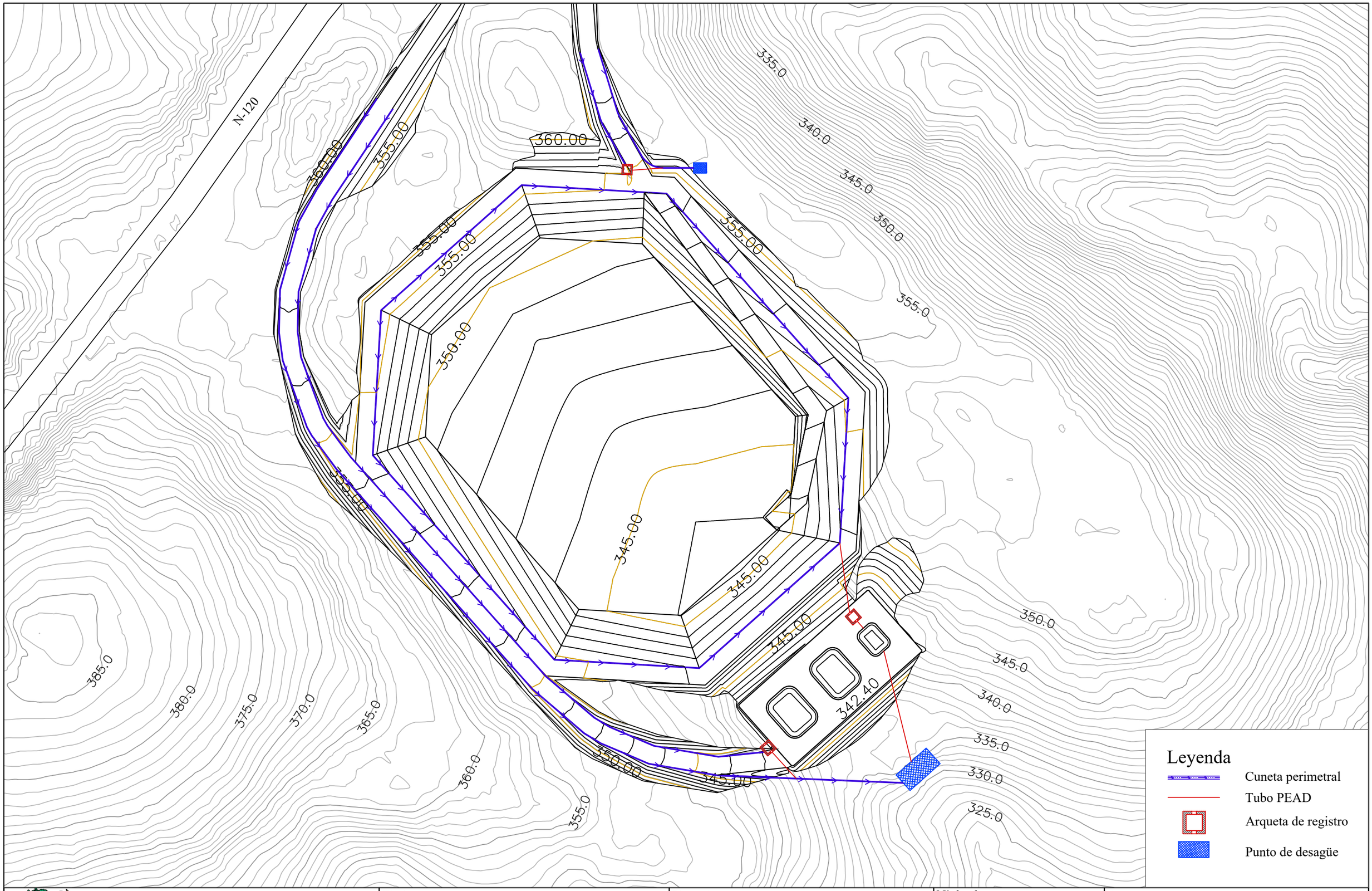
Terraplén

Desmonte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Movimiento de tierras camino secundario: Perfiles transversales Escala: Perfiles:1/500 Planta:1/2.000	Nº de plano: 8	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019

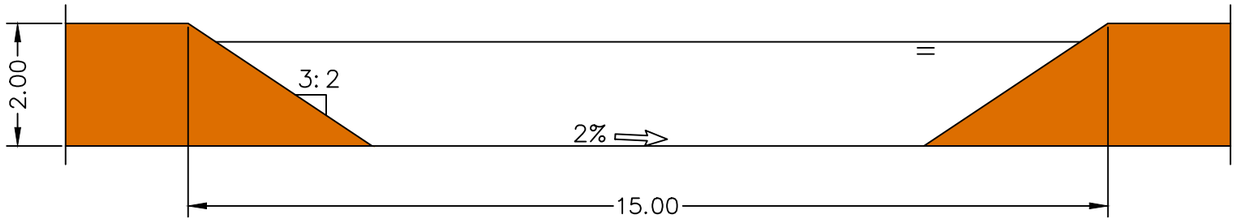


Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Instalaciones: Lixiviados	Nº de plano: 9.1	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez
		Escala: 1/1.000		Fecha: Noviembre 2019

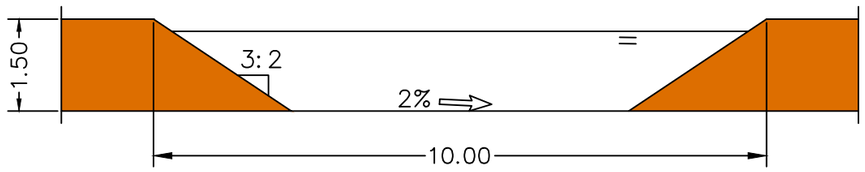


Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Instalaciones: Pluviales Escala: 1/1.000	Nº de plano: 9.2	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019

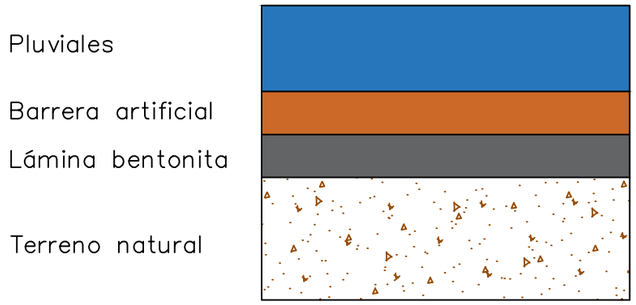
Balsas lixiviados



Balsa pluviales

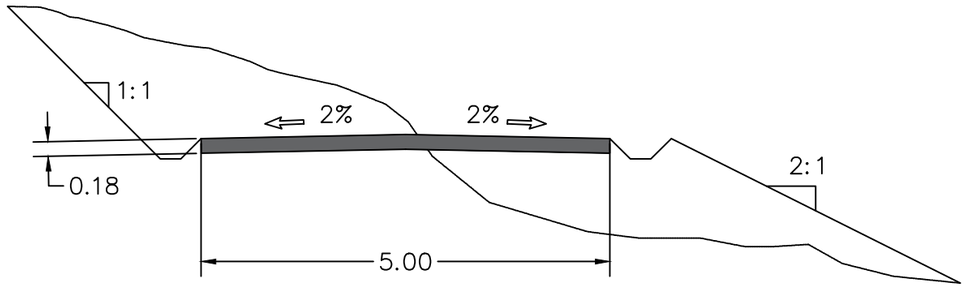


Impermeabilización



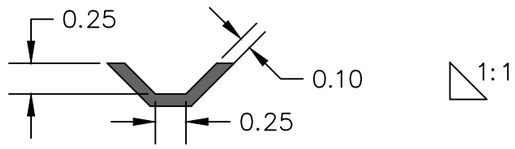
E: 1/100

Camino de acceso



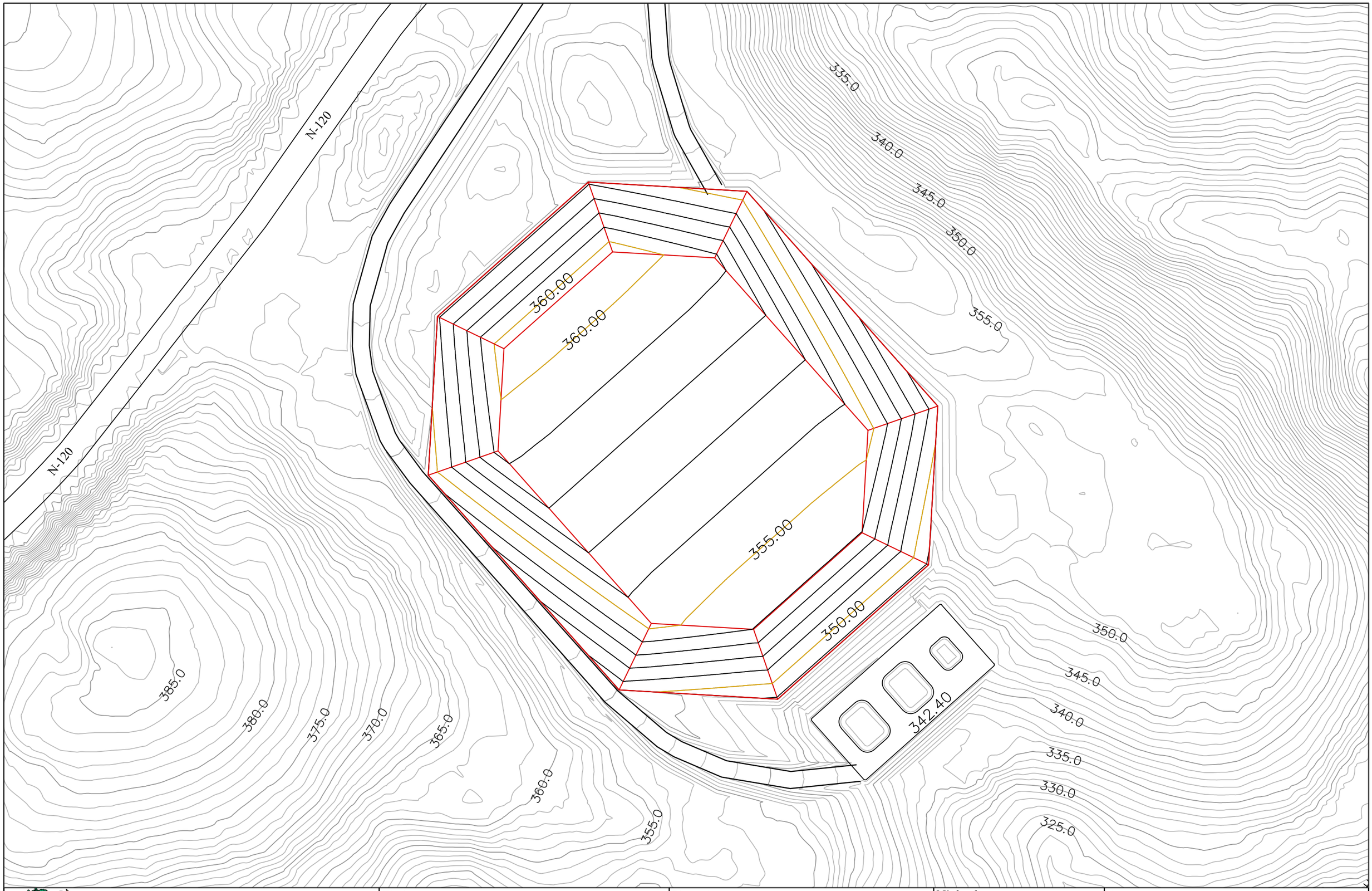
E: 1/75

Cuneta

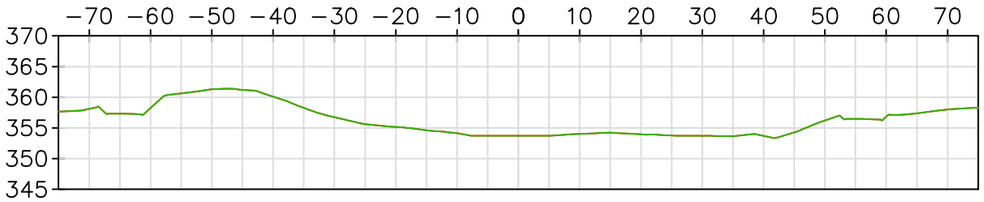


E: 1/50

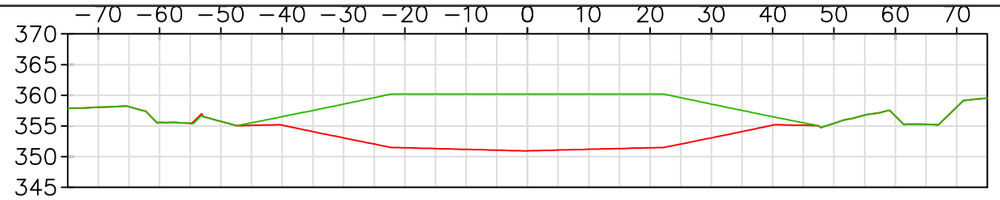
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Secciones tipo	Nº de plano: 10	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez
		Escala: Varias		Fecha: Noviembre 2019



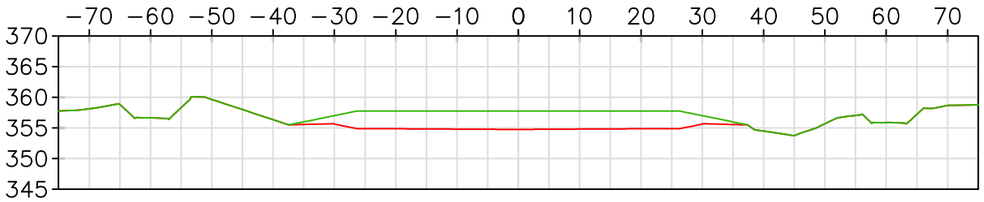
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Sellado: Planta general Escala: 1/1.000	Nº de plano: 11.1	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019



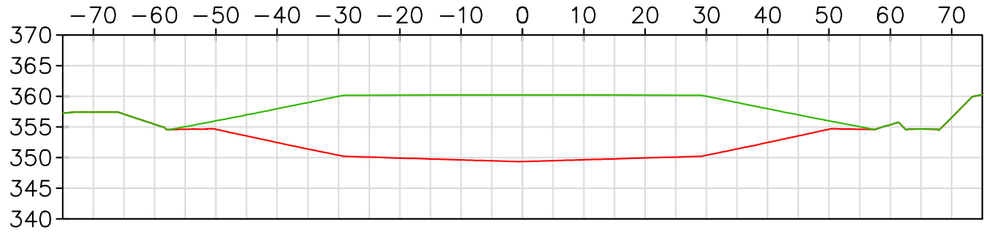
P.K.=0+000



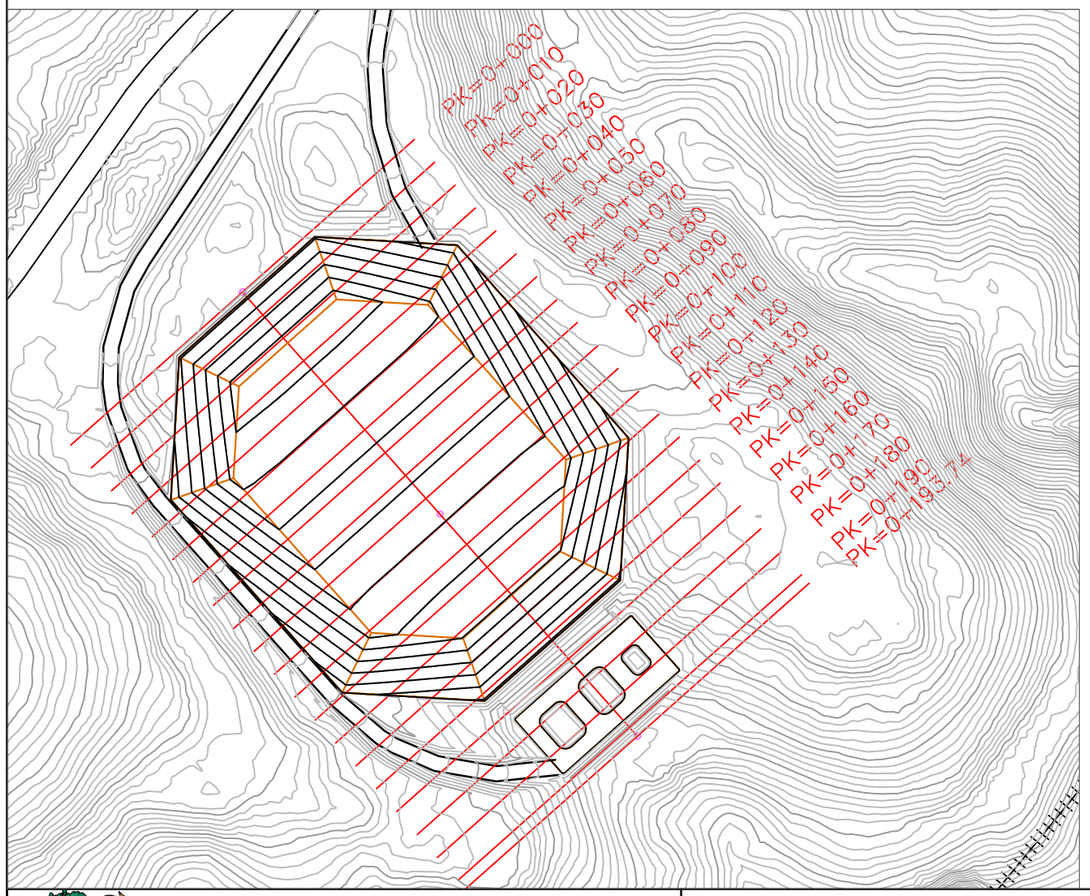
P.K.=0+020

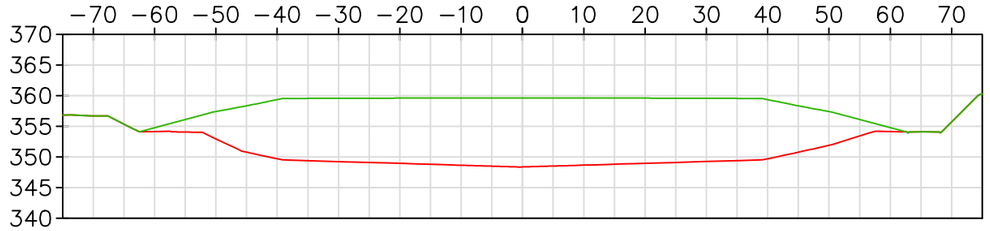


P.K.=0+010

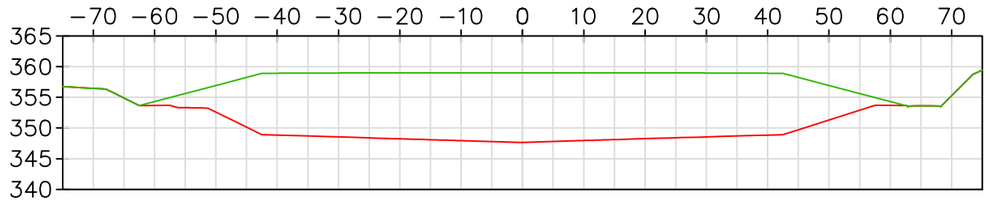


P.K.=0+030





P.K.=0+040

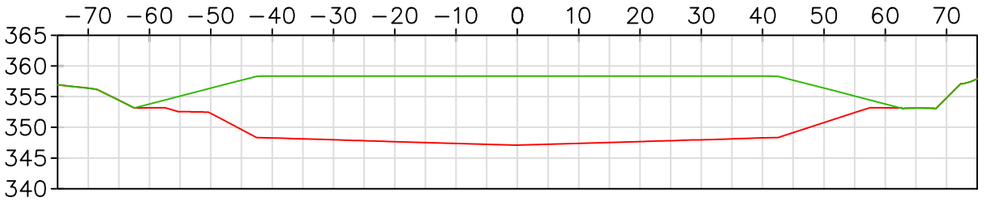


P.K.=0+050

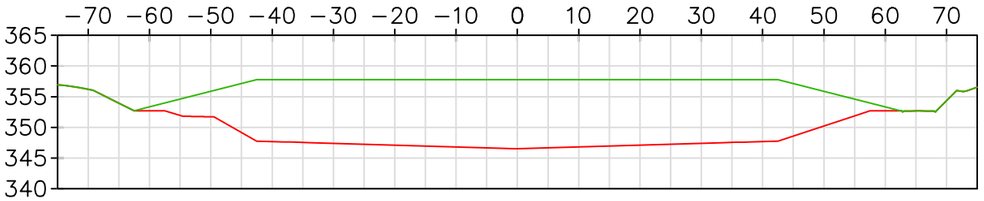
Leyenda

- Vertedero sellado
- Vertedero sin sellado

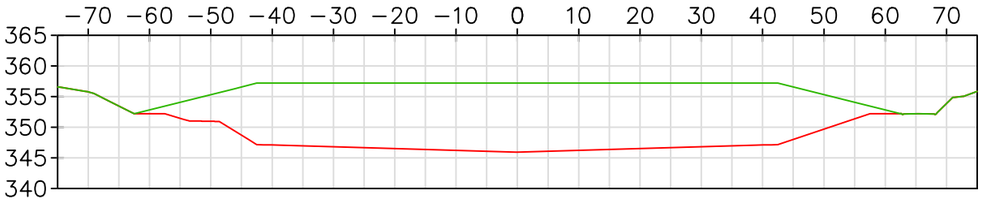
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Sellado: Perfiles	Nº de plano: 11.2	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez
		Escala: Perfiles:1/1.000 Planta:1/2.000		Fecha: Noviembre 2019



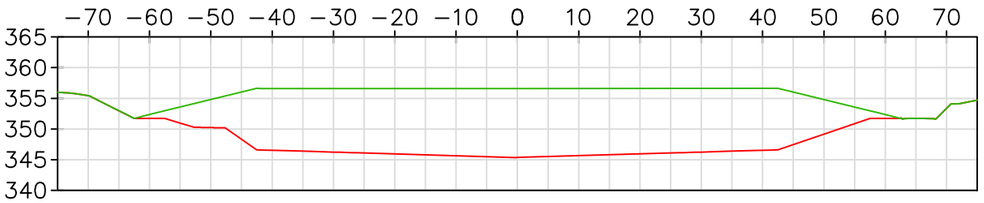
P.K.=0+060



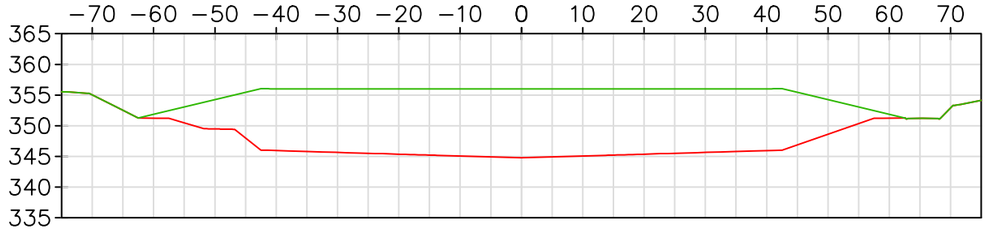
P.K.=0+070



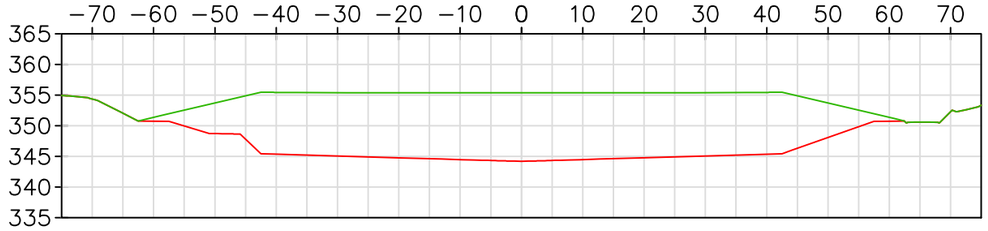
P.K.=0+080



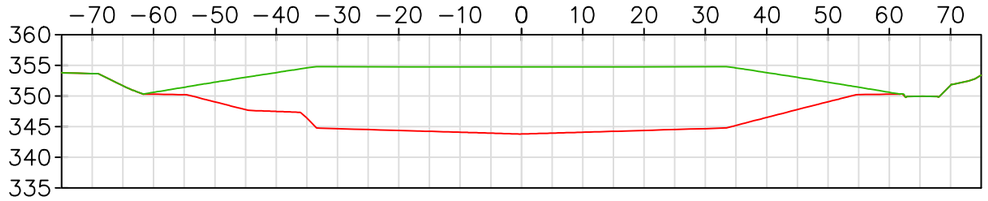
P.K.=0+090



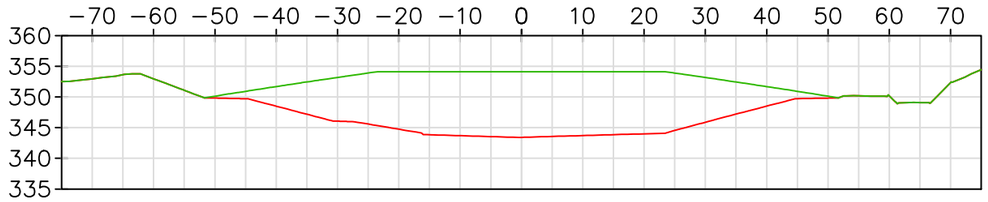
P.K.=0+100



P.K.=0+110



P.K.=0+120

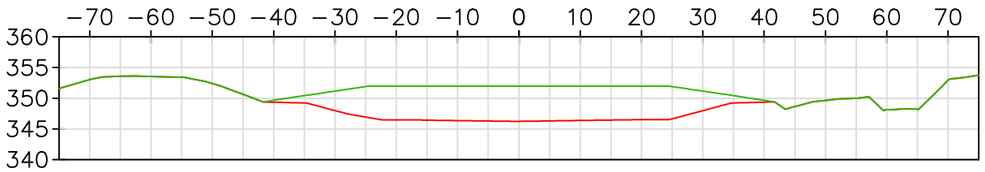


P.K.=0+130

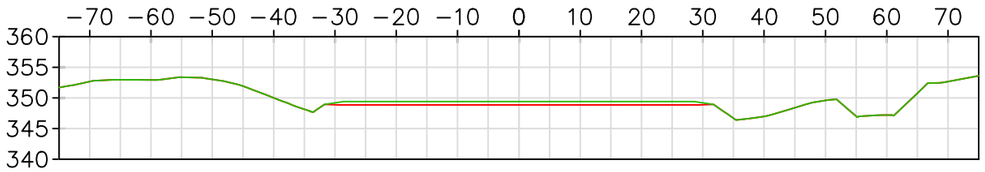
Leyenda

- Vertedero sellado
- Vertedero sin sellado

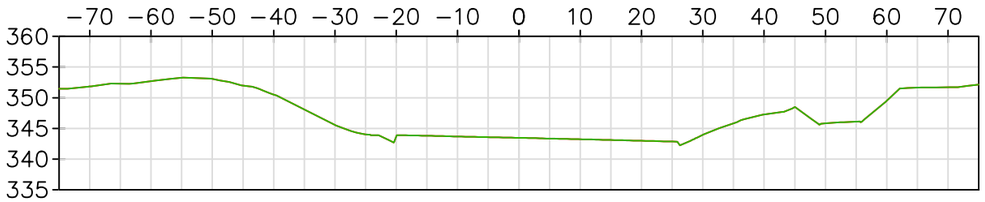
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Sellado: Perfiles	Nº de plano: 11.3	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez
		Escala: 1/1.000		Fecha: Noviembre 2019



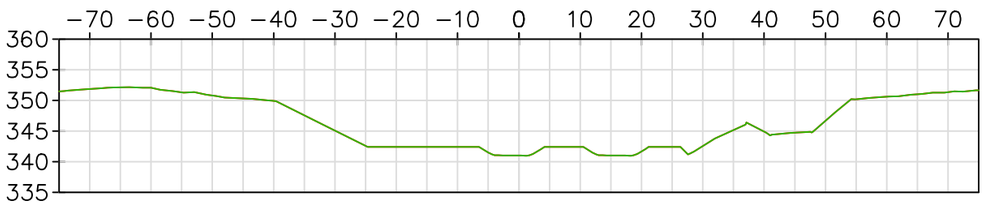
P.K.=0+140



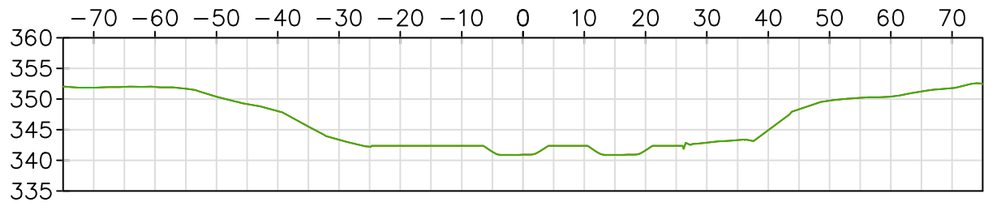
P.K.=0+150



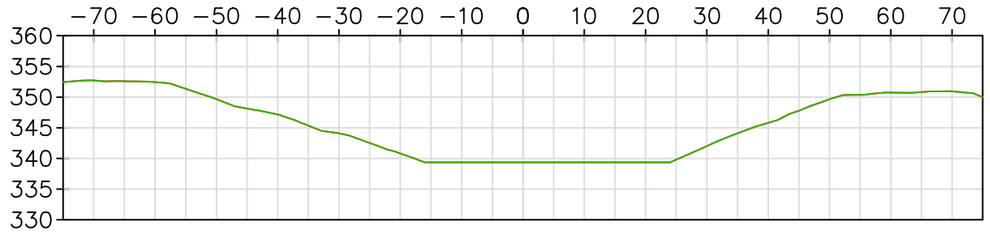
P.K.=0+160



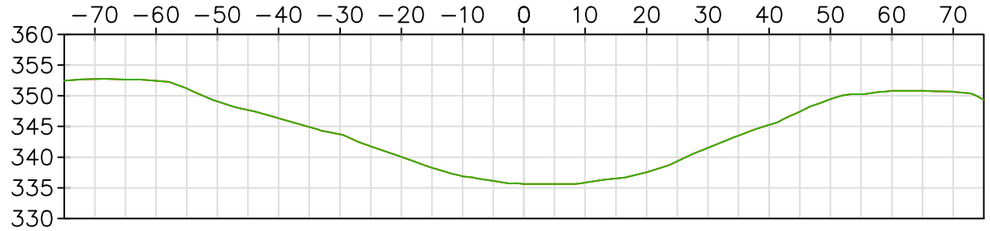
P.K.=0+170



P.K.=0+180



P.K.=0+190

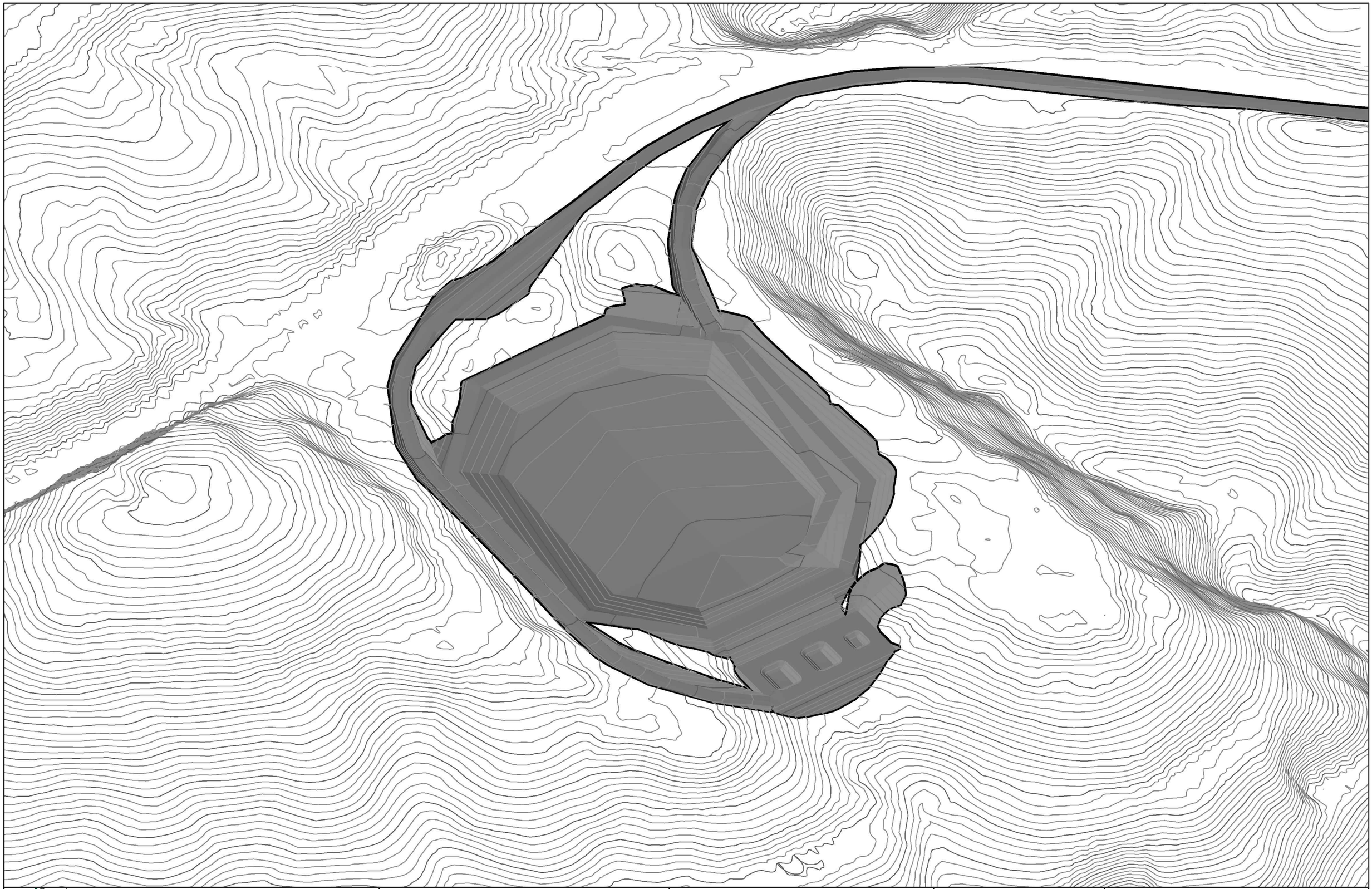


P.K.=0+193,74

Leyenda

- Vertedero sellado
- Vertedero sin sellado

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Sellado: Perfiles Escala: 1/1.000	Nº de plano: 11.4	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Título: Vertedero de residuos inertes en A Rúa (Ourense)	Plano de: Vista 3D vertedero Escala: Sin escala	Nº de plano: 12	Autor: Víctor Manuel Yáñez Pérez Fecha: Noviembre 2019